

Katharina Klemt-Albert

Optimierung der Nachhaltigkeit von Bauwerken durch die Integration von Nachhaltigkeitsanforderungen in die digitale Methode Building Information Modeling

F 3213

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2020

ISBN 978-3-7388-0515-4

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung



Endbericht - ONIB

„Optimierung der Nachhaltigkeit von Bauwerken durch die Integration von Nachhaltigkeitsanforderungen in die digitale Methode Building Information Modeling“

SWD-10.08.18.7-17.29

Antragsteller:

Leibniz Universität Hannover

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Katharina Klemt-Albert, Institut für Baumanagement und Digitales Bauen (ICoM)

Projektstart: 01.07.2017 Projektlaufzeit: 30 Monate

fachliche Betreuung: Dr.-Ing. Michael Brüggemann

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-17.29). Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Dezember 2019

Management Summary

Eine Zertifizierung der Nachhaltigkeit ist derzeit mit großem manuellem Arbeitsaufwand verbunden. In Abhängigkeit der Zertifizierungsinstitution sind die Bewertungssysteme in verschiedene Themenfelder der Nachhaltigkeit untergliedert. Zu einem festgelegten Berichtszeitpunkt wird der Erfüllungsgrad der Themenfelder gewertet und ein Gesamtergebnis durch Wichtung der Einzeleinflüsse ermittelt. Die zur Dokumentation und Erstellung der Nachweisunterlagen erforderlichen Informationen sind aus einer Vielzahl von Datenquellen und Planungsunterlagen herauszuarbeiten, wobei die Informationslage sich häufig als nicht konsistent herausstellt. Eine Anpassung der Daten aufgrund von Planungsänderungen oder Konkretisierung von Annahmen ist ebenfalls mit hohem Aufwand verbunden.

Um diesen Herausforderungen im Zertifizierungsprozess zu begegnen und die nachhaltige Gebäudeplanung in allen Projektphasen zu optimieren, wurden in diesem Forschungsprojekt Nachhaltigkeitsbetrachtungen unter Anwendung der digitalen Methode Building Information Modeling (BIM) durchgeführt.

Ziel des Forschungsprojektes ist es, bereits in den frühen Phasen der Planung eine gezielte Einflussnahme auf die Nachhaltigkeit des späteren Bauwerks durch Anwendung der BIM-Methode nehmen zu können. BIM bietet die Möglichkeit, Nachhaltigkeitsaspekte als Objektcontent im digitalen Bauwerksmodell abzubilden. In den unterschiedlichen Phasen der Planung variiert der Informationsgehalt der Modellobjekte, sodass Anforderungen zum Inhalt und der Abbildung von Nachhaltigkeitsanforderungen im Modell erarbeitet wurden. Die Bereitstellung abrufbarer Objektinformationen in einem konsistenten Daten- und Informationsmodell dienen als Grundlage, um die Bewertung der Nachhaltigkeit deutlich zu vereinfachen. Voraussetzung dafür ist eine entsprechende Attribuierung der Modellobjekte, welche die zur Nachhaltigkeitszertifizierung erforderlichen Parameter abbilden.

Die Basis der Untersuchungen bilden entwickelte Prozessmodelle des konventionellen Zertifizierungsprozesses und deren Weiterentwicklung zu einem BIM-Sollprozess für die Abbildung von Nachhaltigkeitsanforderungen in digitalen Gebäudemodellen. Daraus werden Informationsanforderungen an das Modell herausgestellt, welche in ein Referenzmodell als Pilotprojekt überführt und getestet wurden.

Durch die Anwendung einer konsistenten Datenstruktur konnten Vorgaben und Möglichkeiten der (Teil-)Automatisierung von Zertifizierungsprozessen aufgezeigt, sowie eine Methodik zur Übersetzung von Nachhaltigkeitsanforderungen in Modellcontent entwickelt werden. Die prozessualen und modellspezifischen Voraussetzungen wurden logisch und strukturiert aufbereitet und in einem Beispielprojekt validiert. Dazu wurde ein Common Data Environment (CDE) als gemeinsame Projektplattform für die Kommunikation und Kollaboration aller Zertifizierungsbeteiligten genutzt.

Zur beispielhaften Umsetzung der Nachhaltigkeitsanforderungen wurden die Kriterien SOC2.1 „Barrierefreiheit“ und ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ des DGNB-Kriterienkataloges untersucht und in digitalen Modellcontent übersetzt, welcher in Attribuierungsmatrizen festgeschrieben wurde. Dabei wurde der Ansatz der vollumfänglichen Informationsabbildung über das Modell gewählt.

Durch ein strukturiertes und standardisiertes Datenmanagement sowie eine optimierte Informationslogistik auf Basis eines BIM-Modells konnte eine Effizienzsteigerung bei der kollaborativen Zusammenarbeit aller Projektbeteiligter an Nachhaltigkeitszertifizierungen erreicht werden. Grundlage dafür war die eindeutige Definition von Informationsanforderungen an das digitale Gebäudemodell, welches sich im Rahmen des Forschungsprojektes als zentrales Steuerungsinstrument für die Nachhaltigkeitsbewertung herausgestellt hat. Durch die Erstellung von Regeln zur Modellprüfung konnten die normativen Anforderungen aus den Kriterienvorgaben (teil-)automatisiert abgeprüft werden, was sich in frühen Planungsphasen als effiziente Methode zur Überprüfung des Modellinformationsgehaltes hinsichtlich notwendiger Nachhaltigkeitsanforderungen validieren lies.

Die Ergebnisse aus dem Pilotbetrieb zeigen, dass die Implementierung von Nachhaltigkeitsanforderungen in digitale Gebäudemodelle unter Definition klarer Datenstrukturen möglich ist, um ein kollaboratives Verständnis für Nachhaltigkeitsanforderungen bei allen Projektbeteiligten in frühen Projektphasen aufzubauen und die Nachweiszertifizierung durch die Anwendung von Modelchecks zu (teil-)automatisieren.

Für die umfassende Anwendung von Nachhaltigkeitsabbildungen in digitalen Gebäudemodellen im Rahmen eines openBIM Ansatzes sind Standards für die Modellanreicherung mit Nachhaltigkeitscontent zu entwickeln. Dadurch kann die Anwendung bei Bauherren und Planern ermöglicht und die Grundlage für die Erstellung nativer und offener Softwareanwendungen geschaffen werden, welche den Zertifizierungsprozess ganzheitlich abbilden und so zu nachhaltigeren Bauwerken beitragen.

Inhaltsverzeichnis

Management Summary	I
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
1. Forschungsprojekt ONIB	1
1.1. Projektbeschreibung & -ziele	1
1.2. Projektstrukturierung & Arbeitspakete	1
1.3. Status Quo & aktuelle Entwicklungen	3
2. Analyse	4
2.1. Analyse der Zertifizierungssysteme	4
2.2. Perspektivenanalyse	8
2.2.1. Betrachtungshorizont und Methodik	8
2.2.2. Prä-Analyse	8
2.2.3. Thesenbildung	9
2.2.4. Thesenbewertung	9
2.2.5. Zusammenfassung der Thesenbewertung	15
2.3. Prozessmodellierung	16
2.3.1. konventionelle Prozessmodellierung	16
2.3.2. Der openBIM-Ansatz	20
2.3.3. BIM-Prozessmodellierung	21
2.4. Rollenkonzept innerhalb des BIM-Prozesses	23
3. Simulation und Pilotierung	25
3.1. Entwicklung eines Drehbuches	25
3.2. Durchführung des Simulationsworkshops	26
3.3. Ergebniszusammenführung und -betrachtung	28
3.4. Konzeptentwicklung Pilotprojekt	31
3.4.1. Inhalte und Vorgehensweise	31
3.4.2. Ableitung der Templates für das Pilotprojekt	31
3.4.3. Rollendefinition im Pilotprojekt	32
3.4.4. Aufsatz AIA und BAP	33
3.4.5. Inhalte der AIA unter Betrachtung von Nachhaltigkeitskriterien	36
3.4.6. Inhalte der BAP unter Betrachtung von Nachhaltigkeitskriterien	41
3.5. Umsetzung Pilotprojekt	45
3.5.1. Vorstellung des Pilotprojektes	45
3.5.2. Digitaler Projektaufsatz	46
3.5.3. Auswahl der Nachhaltigkeitskriterien	51
3.5.4. Data Enrichment	55
3.5.5. Prozessuale Analyse der Nachhaltigkeitsanforderungen	56
3.5.6. Aufbau der Attribuierungsmatrizen	58
3.5.7. Umsetzung der Modellattribuierung und Modellierungsvorgaben	63

3.5.8. Nachweisführung und Modelchecking	71
3.6. Erkenntnisse aus dem Pilotbetrieb	79
3.6.1. Umsetzung des BIM-Sollprozesses	79
3.6.2. Verwendung von Attribuierungsmatrizen	80
3.6.3. Modellgestützte Nachhaltigkeitsauswertung	81
4. Ausblick	83
Literaturverzeichnis	VIII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektstrukturplan Forschungsprojekt ONIB (Eigene Darstellung)	2
Abbildung 2: Gebäude mit Nachhaltigkeitszertifikaten in Deutschland, Österreich und der Schweiz (2017) je Zertifizierungssystem (Eigene Darstellung nach [6])	4
Abbildung 3: Kriterienanzahl je Dimension und Zertifizierungssystem (Eigene Darstellung nach [7–10])	5
Abbildung 4: Prozentuale Gewichtung der Dimensionen je Zertifizierungssystem (Eigene Darstellung nach [7–10])	6
Abbildung 5: Prozentuale Gewichtung auf Kriterienebene je Zertifizierungssystem (Eigene Darstellung [7–10])	6
Abbildung 6: Priorisierte Ergebnisse der Prä-Analyse (eigene Darstellung)	9
Abbildung 7: Teilnehmerverteilung nach (a) Disziplin und (b) Alter in der durchgeführten Online-Umfrage (Eigene Darstellung)	10
Abbildung 8: Anwendungsgewichtung von Zertifizierungssystemen (Eigene Darstellung)	11
Abbildung 9: Umfrage zum einheitlichen Verständnis von Nachhaltigkeit als Herausforderung (Eigene Darstellung)	12
Abbildung 10: Herausforderungen bei Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen (Eigene Darstellung)	13
Abbildung 11: Herausforderungen bei der Einführung der Methode BIM (Eigene Darstellung) ..	13
Abbildung 12: Einführung von BIM in Zertifizierungsprozesse (Eigene Darstellung)	14
Abbildung 13: Effekt durch die Methode BIM auf aktuelle Probleme bei der Gebäudezertifizierung (Eigene Darstellung)	15
Abbildung 14: Frankfurt School of Finance & Management [12]	16
Abbildung 15: konventioneller Prozess - Vorbereitung und Anmeldung der Zertifizierung bei der DGNB (Eigene Darstellung nach [14])	17
Abbildung 16: konventioneller Prozess - Einreichen der erforderlichen Unterlagen für die Zertifizierung bei der DGNB (Eigene Darstellung nach [14])	18
Abbildung 17: konventioneller Prozess - Prüfung der DGNB-Zertifizierung (Eigene Darstellung nach [14])	19
Abbildung 18: konventioneller Prozess - Ergebnis und Verleihung der DGNB-Zertifizierung (Eigene Darstellung nach [14])	19
Abbildung 19: Teilprozess Barrierefreiheit Sanitäre Anlagen, Quelle: Eigene Darstellung in IYOPRO (Eigene Darstellung)	22
Abbildung 20: Projektrollen und Verantwortlichkeiten in BIM-Projekten [16]	23
Abbildung 21: Rollendefinition gemäß BIM-Sollprozess (Eigene Darstellung)	24
Abbildung 22: Set-Up Co LAB und beispielhafte Workshopdurchführung, (Quelle: Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie / C. Bierwagen)	26
Abbildung 23: Ausschnitt aus dem Drehbuch der Prozesssimulation (Eigene Darstellung)	27
Abbildung 24: Zuständigkeiten der Projektpartner gemäß Rollendefinition (Eigene Darstellung)	33

Abbildung 25 : Definition von Anforderungen und Umsetzung für das digitale Bauen mit BIM [19]	34
Abbildung 26: Strukturiertes Workshop-Brainstorming zu den AIA-Inhalten (Eigene Darstellung)	36
Abbildung 27: Pilotprojekt htm.a Architektur GmbH: Neubau eines Bürogebäudes mit Lagerhalle in Seelze-Letterholz, Deutschland	45
Abbildung 28: Das Common Data Environment als Single Source of Truth [17]	47
Abbildung 29: Steuerung von Lese- und Schreibrechten (Eigene Darstellung)	47
Abbildung 30: Funktionsumfang des webbasierten CDE „Squirrel“ des Projektpartners albert.ing GmbH	48
Abbildung 31: Analyse- und Umsetzungsprozess der Beispielkriterien (Eigene Darstellung)	55
Abbildung 32: Prozess des Nachweises des Kriteriums SOC2.1 „Barrierefreiheit“ (Eigene Darstellung nach [22])	56
Abbildung 33: Subprozess SOC2.1 „barrierefreier Toilettenraum“ (Eigene Darstellung nach [22])	57
Abbildung 34: Prozess des Nachweises des Kriteriums ECO 2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ (Eigene Darstellung nach [22])	58
Abbildung 35: Subprozess ECO2.1 Flächeneffizienz (Eigene Darstellung nach [22])	58
Abbildung 36: Beispiele für die Abbildung von Nachhaltigkeitsanforderungen als Modellcontent (Eigene Darstellung)	59
Abbildung 37: Namenkonvention des Pilotprojektes (Eigene Darstellung)	62
Abbildung 38: Verteilung der Modellinformationen für die Kriterien SOC2.1 und ECO2.1 (Eigene Darstellung)	62
Abbildung 39: Relativer Anteil der „Custom ONIB“ Attribute an den notwendigen Modellinformationen (Eigene Darstellung)	63
Abbildung 40: Struktur der Nachhaltigkeitsparameter auf einem zentralen Firmenserver (Eigene Darstellung)	64
Abbildung 41: Parameterstruktur in Allplan Architecture 2019	65
Abbildung 42: Beispielhafter LOD-Fortschritt an einer Stahlbeton-Stütze [19]	66
Abbildung 43: Abbildung globaler Parameter im Modell (Eigene Darstellung)	67
Abbildung 44: BCF-Issue Modellattribuierung Software Squirrel (Eigene Darstellung)	69
Abbildung 45: Attributprüfung in der Modelchecker Software Desite MD (Eigene Darstellung)	69
Abbildung 46: Klassifizierungseinstellung des Pilotprojektes im Solibri Model Checker V9.9 (Eigene Darstellung)	75
Abbildung 47: Baumstruktur des [ONIB] Rule Set im Solibri Model Checker (Eigene Darstellung)	76
Abbildung 48: Modellauswertung ECO2.1 in Dynamo und als Prozessmodell (Eigene Darstellung)	77
Abbildung 49 Darstellung der Auswertungsergebnisse als Bauteilliste in Revit (Eigene Darstellung)	78
Abbildung 50: Entscheidende Subprozesse im BIM-Sollprozess (Eigene Darstellung)	80

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Inhalte der AIA unter Betrachtung von Nachhaltigkeitskriterien	37
Tabelle 2: Inhalte des BAP unter Betrachtung von Nachhaltigkeitskriterien	42
Tabelle 3: Kollaborationsfunktionen des CDE „Squirrel“ der Firma albert.ing GmbH	49
Tabelle 4: Übersicht der im Pilotprojekt verwendeten Software	50
Tabelle 5: Punkteverteilung der Qualitätsstufen für das Kriterium SOC2.1 Barrierefreiheit [22]	52
Tabelle 6: Punkteverteilung und Kenngrößen für das Kriterium ECO2.1 Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit [22]	54
Tabelle 7: Anforderungen an den Informationsgehalt der Attribuierungsmatrizen	60
Tabelle 8: Anzahl der direkten und indirekten Elementattribute je Kriterium	67

1. Forschungsprojekt ONIB

1.1. Projektbeschreibung & -ziele

Mit dem Forschungsvorhaben „Optimierung der Nachhaltigkeit von Bauwerken durch die Integration von Nachhaltigkeitsanforderungen in die digitale Methode Building Information Modeling“ (ONIB) soll die Bewertung der Nachhaltigkeit in digitale Gebäudemodelle der digitalen Methodik Building Information Modeling (BIM) eingebunden werden. So wird ermöglicht, Bauwerksmodelle mit abrufbaren Objektinformationen zur Nachhaltigkeit in konsistenten Daten- und Informationsmodellen vorzuhalten, die bei Bedarf für eine Bewertung der Nachhaltigkeit die erforderlichen aktuellen Daten aufweisen.

Im Fokus der Arbeit steht die definierte Beschreibung von Nachhaltigkeitskriterien über zu entwickelnde Prozessmodelle, die mittels Objektcontent in digitale Gebäudemodelle integriert werden können. Um die Objekte mit definierten Nachhaltigkeitskriterien auszustatten, werden Zertifizierungssysteme und -prozesse analysiert und mit der BIM-Methodik abgeglichen. Durch Hinzunahme der definierten Attribute wird ein Referenzmodell auf Basis von digitalen Bauwerksmodellen erstellt. Die Ergebnisse sollen an einem Beispielprojekt validiert bzw. evaluiert werden.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, durch die Anwendung digitaler Methoden, eine aktive und bewusste Steuerung der Nachhaltigkeit zu einem frühen Zeitpunkt der Planung zu erreichen, wodurch eine Optimierung von Nachhaltigkeitsaspekten erzielt werden kann.

Dabei wird insbesondere die Arbeitsweise und der Umgang mit digitalen Bauwerksmodellen zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden im Bereich der Planung adressiert. Durch ein strukturiertes und standardisiertes Datenmanagement auf Basis eines BIM-Modells werden hohe Potentiale und Effizienzsteigerungen bei der Nachhaltigkeit sowie bei der Bewertung bzw. Zertifizierung der Nachhaltigkeit von Gebäuden erwartet.

1.2. Projektstrukturierung & Arbeitspakete

Das Projekt besteht aus vier Arbeitspaketen, die chronologisch (von links nach rechts) in drei übergeordnete Arbeitsteile (I: Analyse, II: Simulation und Pilotierung, III: Handlungsempfehlungen) eingeteilt sind (vgl. Abbildung 1).

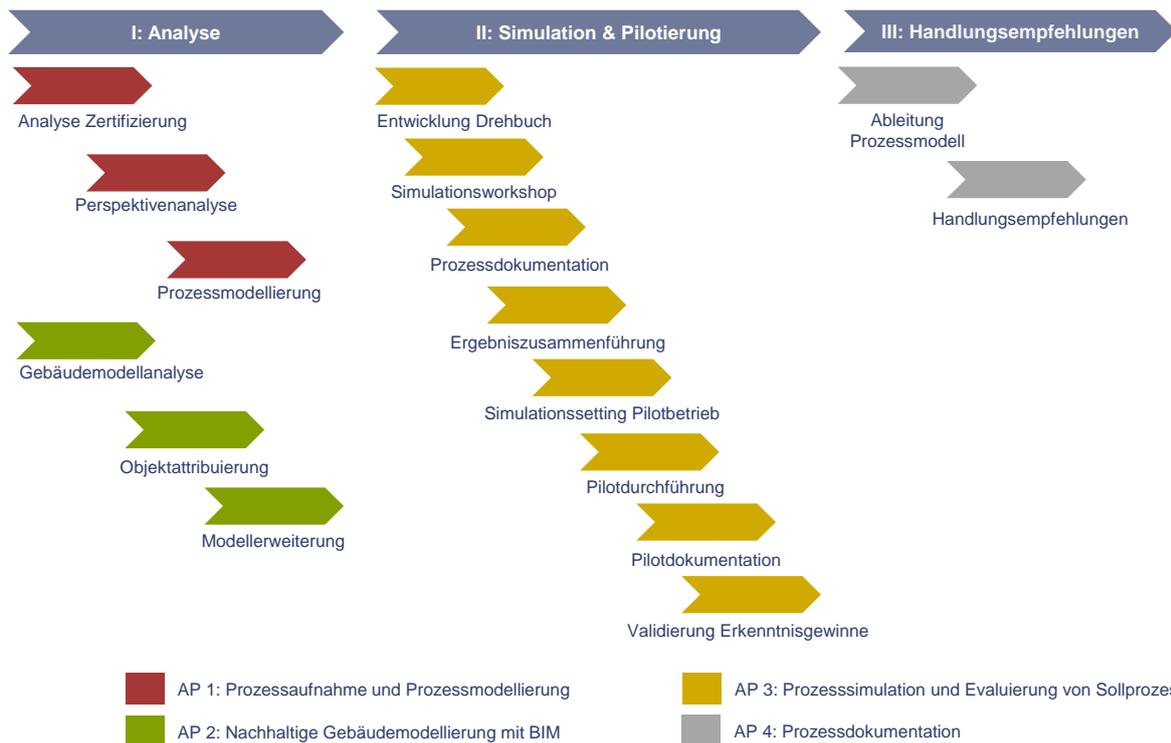


Abbildung 1: Projektstrukturplan Forschungsprojekt ONIB (Eigene Darstellung)

In der einführenden Analyse wird eine Prozessaufnahme und -modellierung der zu untersuchenden Ist- und Sollprozesse aufgesetzt. Dabei werden Stakeholder und deren Informationsbedürfnisse untersucht, um die zu erarbeitenden Prozessmodelle zu validieren und anschließend praxisnah auszurichten. Es werden die konventionellen Ist-Prozesse sowie die Zusammenarbeit mit BIM-Modellen berücksichtigt.

Auf dieser Basis wird ein korrespondierendes Modell „Nachhaltige Gebäudemodellierung mit BIM“ entwickelt, welches nach dem openBIM-Ansatz folgend auf IFC-Kompatibilität (Industry Foundation Classes) ausgerichtet werden soll. Dieses wird Informationen über Objektcontent, Projektrollen und Methoden zur Bewertung der Nachhaltigkeit in verschiedenen Projektphasen enthalten. Dabei fließt auch die Verwendung standardisierter Objektinformationen in die Modellbildung ein. Zum einen finden direkt aus dem Modell ableitbare Informationen, zum anderen auch zusätzlich hinzuzufügende Parameter, wie Umgebungsbedingungen und Standortwerte, Berücksichtigung. Die beiden ersten Arbeitspakete werden anhand von Beispielbauwerken u. a. mit bereits abgeschlossener Zertifizierung des Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. (DGNB) untersucht und modelliert.

Auf Basis der Prämissen dieser beiden Arbeitspakete des Arbeitsschrittes Analyse erfolgt in einer iterativen Prozesssimulation die Evaluierung der Sollprozesse sowie eine kontinuierliche Verbesserung und Überführung der Ergebnisse in eine Projektdokumentation (Teilprojekt „Simulation & Pilotierung“). Dabei werden ausgehend von einem Prototyp weitere Datenanforderungen und Schnittstellen definiert bzw. spezifiziert. Die Simulationsergebnisse werden in den Soll-Prozess rückgeführt und dieser iterativ bestätigt oder angepasst. Die Ergebnisse werden soweit verallgemeinert, sodass für die Methodik eine Praxistauglichkeit ermöglicht wird. Im

Weiteren können herstellerunabhängige Vorgaben bezüglich semantischer Informationen für Objekte entwickelt werden.

Die Ergebnisse der beiden zuvor beschriebenen Arbeitsschritte werden im Rahmen von Handlungsempfehlungen bereitgestellt.

1.3. Status Quo & aktuelle Entwicklungen

Das Projekt zog Ergebnisse verschiedener abgeschlossener Forschungsprojekte mit ein. Für ein besseres Verständnis der Forschungsmethoden und -erkenntnisse sowie eine detaillierte Integration dieser in das Forschungsvorhaben ONIB erfolgte eine Vernetzung mit den einschlägigen Institutionen und der DGNB-Zertifizierungsstelle. Das bestehende nationale Netzwerk ist durch mehrere Präsentationen des Projektes und Teilnahmen an Fachkonferenzen international ausgebaut worden. Das Forschungsprojekt setzte inhaltlich auf den Erkenntnissen des BIM-ID-Projektes [1], des BIM-Leitfadens für den Mittelstand [2] sowie den Bemühungen der Schweizer Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft (SGNI) [3] auf.

Des Weiteren wurden in den vorangegangenen Monaten aktuelle Forschungsarbeiten verfolgt und auf neue Erkenntnisse untersucht. Besonders wurde dabei der Forschungsbericht „Development of an Information Delivery Manual for Early Stage BIM-based Energy Performance Assessment and Code Compliance as a Part of DGNB Pre-Certification“ der Universität Aalborg, Dänemark betrachtet [4]. Des Weiteren wurden die Entwicklungen des Forschungsprojekts „BIM-basierte Integrale Planung“ des Karlsruher Instituts für Technologie erwartet. Das parallel laufende Projekt startete 2017 und endet Ende 2019, weshalb eine weiterführende Betrachtung von Vorteil ist [5].

2. Analyse

Ausgangspunkte der Systemanalyse im Rahmen des Forschungsprojektes ONIB sind die Uneinheitlichkeit von Nachhaltigkeitsdefinitionen und die unterschiedlichen Ausprägungen von Zertifizierungssystemen. Ein Vergleich zwischen verschiedenen Zertifizierungssystemen für eine nachvollziehbare Ausgangs- und Datenbasis für das Projekt wurde angestrebt.

2.1. Analyse der Zertifizierungssysteme

Ziel der Analyse ist die Identifikation der maßgebenden Nachhaltigkeitskriterien und -definitionen sowie die Darstellung der verschiedenen Ausprägungen der einzelnen marktführenden Zertifizierungssysteme in Deutschland.

Ausgangspunkt der Systemanalyse im Rahmen des Forschungsprojektes ONIB ist ein uneinheitliches Nachhaltigkeitsverständnis in der Baubranche sowie unterschiedliche Ausprägungen von Zertifizierungssystemen. Weltweit sind Nachhaltigkeits-Zertifizierungssysteme für Bauwerke und Gebäude von verschiedenen Anbietern am Markt verfügbar. Der Vergleich und die Auswertung der verschiedenen Zertifizierungssysteme schafft eine Ausgangs- und Datenbasis für die Simulation und Pilotierung im Projekt.

Die statistische Erhebung durch das Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) im Jahr 2017 ergab für die Länder Deutschland, Österreich und Schweiz, dass die Anwendung des DGNB Zertifizierungsprogramms mit 77,3 % bei insgesamt 946 zertifizierten Bauwerken am häufigsten gewählt wurde [6]. Das Zertifizierungssystem BNB, das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI), wurde in der Statistik der RICS nicht berücksichtigt.

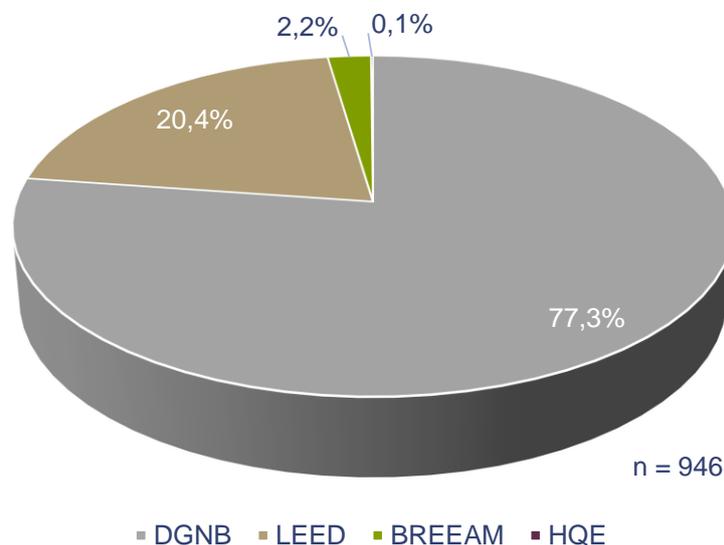


Abbildung 2: Gebäude mit Nachhaltigkeitszertifikaten in Deutschland, Österreich und der Schweiz (2017) je Zertifizierungssystem (Eigene Darstellung nach [6])

Basierend auf dem gezeigten Umfrageergebnis (vgl. Abbildung 2) wurden die drei meist angewendeten Zertifizierungssysteme (DGNB, LEED, BREEAM) in Deutschland, Österreich und der Schweiz genauer für die Nutzungsart Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude in der aktuellsten Version des Zertifizierungssystem untersucht und analysiert, um eine nachvollziehbare

und vergleichbare Ausgangs- und Datenbasis für das Projekt zu schaffen. Weiterhin wird das BNB des BMI für Bundesgebäude berücksichtigt.

Die Zertifizierungssysteme werden auf die Gesamtanzahl der verwendeten Kriterien innerhalb einer jeden Dimension untersucht. Es lässt sich abschätzen, wie detailliert ein jedes Zertifizierungssystem die jeweilige Nachhaltigkeitsdimension betrachtet. Die grafische Auswertung (vgl. Abbildung 3) zeigt, dass die unterschiedlichen Systeme ihren Fokus jeweils sehr spezifisch und unterschiedlich setzen. Das Zertifizierungssystem der DGNB und BNB setzen den Fokus auf technische Aspekte und die Prozessqualität innerhalb der Nachhaltigkeitszertifizierung. Insgesamt werden durch die DGNB und das BMI mehr Kriterien zur Zertifizierung als durch die internationalen Zertifizierungssysteme (LEED, BREEAM) abgefragt.

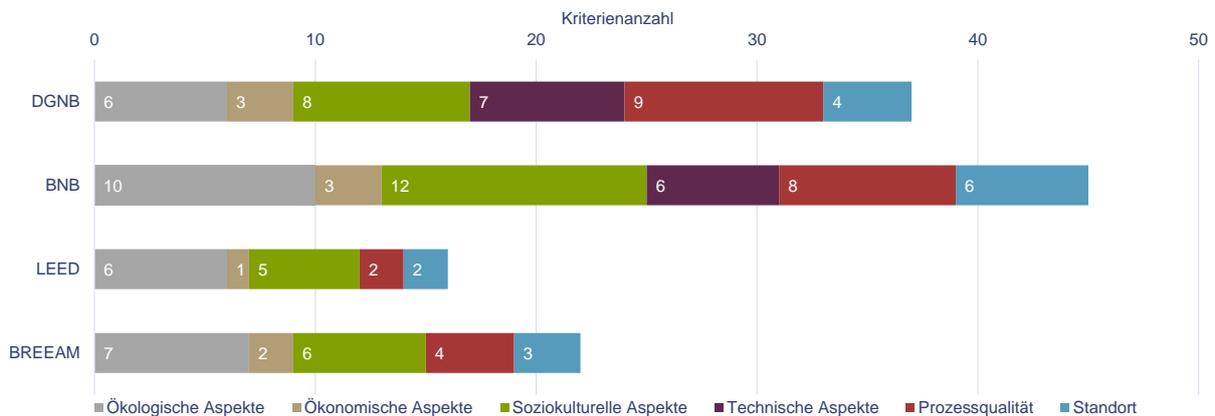


Abbildung 3: Kriterienanzahl je Dimension und Zertifizierungssystem (Eigene Darstellung nach [7–10])

Des Weiteren wurde die prozentuale Gewichtung der Dimensionen für das jeweilige Gesamtzertifikat durch die einzelnen Zertifizierungsstellen verglichen, um den Fokus der Zertifizierungssysteme darzustellen. Die Auswertung zeigt, dass insbesondere die Zertifizierungssysteme LEED und BREEAM großen Wert auf die ökologischen Aspekte legen, dafür andere Einflüsse auf die Nachhaltigkeit wenig bis gar nicht betrachten. Somit sind diese beiden Systeme als schutzspezifische Zertifizierungssysteme zu bezeichnen. Die Gewichtung der Dimensionen der Zertifizierungssysteme der DGNB und BNB erfolgt ausgewogener und sie sind als ganzheitliche Multikriteriensysteme zu bezeichnen (vgl. Abbildung 4).

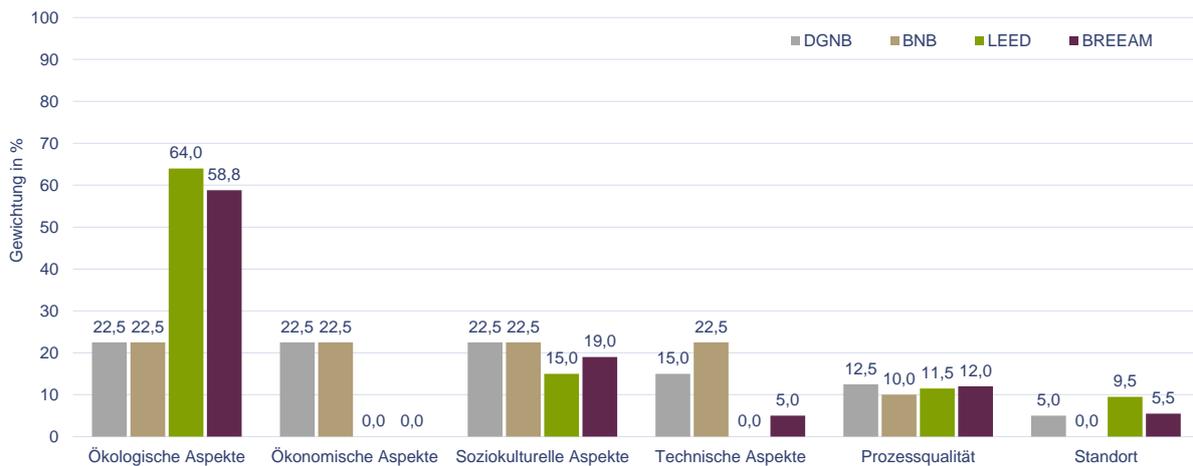


Abbildung 4: Prozentuale Gewichtung der Dimensionen je Zertifizierungssystem (Eigene Darstellung nach [7–10])

In einem dritten Schritt wurde die prozentuale Gewichtung auf Kriterienebene am Beispiel der fünf am höchsten gewichteten Kriterien der jeweiligen Zertifizierungssysteme dargestellt und verglichen. Es zeigt sich, dass die deutschen Zertifizierungssysteme (DGNB, BNB) einen anderen Fokus als das britische Zertifizierungssystem BREEAM und das LEED Zertifizierungssystem der USA legen. Die drei gewichtigsten Kriterien bei BREEAM und LEED sind den ökologischen Aspekten zuzuordnen, bei BNB und DGNB sind diese aus unterschiedlichsten Dimensionen, wie beispielsweise den ökonomischen und technischen Aspekten. Der prioritäre Fokus bei BNB und der DGNB liegt auf der Betrachtung der gebäudebezogenen Kosten im gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks.

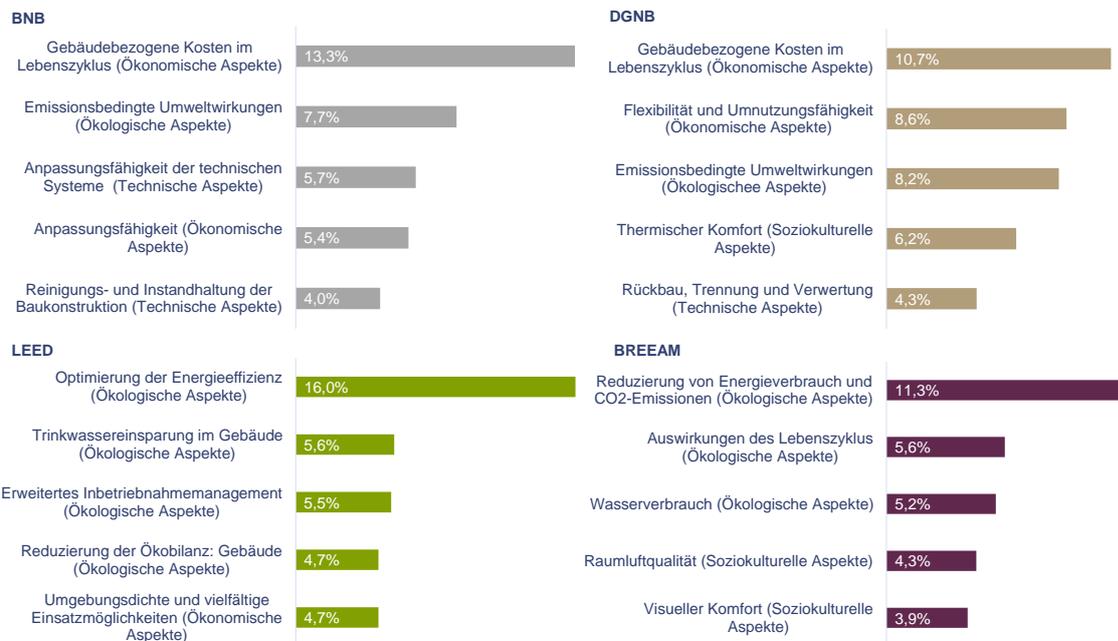


Abbildung 5: Prozentuale Gewichtung auf Kriterienebene je Zertifizierungssystem (Eigene Darstellung [7–10])

Die verglichenen Systeme weisen Unterschiede in Schutzziele, betrachteten Nachhaltigkeitsdimensionen und -kriterien auf, wobei sich die Systeme auch in ihrer Bewertungsmethodik, Gewichtung von Dimensionen und Kriterien und der Punktevergabe unterscheiden.

Auf dieser Basis ist eine Grundannahme für die Begrifflichkeit und Umfang der Nachhaltigkeit zu treffen. Für dieses Forschungsprojekt ist die Definition der Nachhaltigkeit aus dem Leitfadens Nachhaltiges Bauen vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) [11] maßgebend. Zur Betrachtung von Nachhaltigkeitsaspekten in Planungs-, Bau- und Betriebsprozesse gehören somit mindestens die Belange der drei Grunddimensionen (Ökologie, Ökonomie und Soziokulturelles) sowie eine gleichgewichtige Behandlung dieser. Unter den betrachteten Systemen befinden sich mit BNB und DGNB zwei Systeme, welche diese Definition abbilden, sowie durch zusätzliche Kriterien und Dimensionen darüber hinausgehen. Des Weiteren hat sich der Einsatz von performanceorientierte Bewertungssystemen, welche die Wirkung einer Maßnahme bewerten, und nicht die alleinige Aus- und Durchführung, als positiv für die Integration in die BIM-Methodik erwiesen. BNB und DGNB basieren im Gegensatz zu BREEAM und LEED, die ein maßnahmenorientiertes Bewertungssystem darstellen, auf dieser Bewertungsmethodik. Die Messbarkeit lässt sich anhand eines Modells durchführen und trägt damit zu einer qualitativ höherwertigeren Aussage bei.

Aufgrund der Systemanalyse und den darin herausgearbeiteten Unterschieden sowie Ansprüchen wird sich im weiteren Verlauf auf das BNB und DGNB-Zertifizierungssystem, zwei ganzheitlich und performanceorientierten Systemen mit hohem Marktanteil in Deutschland, bezogen.

2.2. Perspektivenanalyse

Im Rahmen des Forschungsprojekts ONIB wurden in einem parallelen Schritt verschiedene Stakeholder im Zertifizierungsprozess analysiert. Dabei sollen Herausforderungen und Erwartungen eines jeden Stakeholders im derzeitigen und in einem künftigen (digitalen) Zertifizierungsprozess mittels Umfrage untersucht und ausgewertet werden.

2.2.1. Betrachtungshorizont und Methodik

Die Konzeption der Perspektivenanalyse besteht aus drei Teilen, einer Prä-Analyse (vorgelagerte Untersuchung) mit Projektpartnern, einer Thesenableitung sowie der Konzeptionierung, Durchführung und Auswertung von Online-Umfragen auf Basis der aufgestellten Thesen.

Ziel dieser Untersuchung ist die Aufnahme und Bewertung der aktuellen Erwartungen und Herausforderungen im Umgang mit den derzeitigen und zukünftigen Zertifizierungsprozessen im Bauwesen.

Mit den gewonnenen Thesen und Erkenntnissen aus der Umfrage wird eine praxisnahe Ausrichtung des Forschungsprojektes sowie des zu erarbeitenden BIM-Soll-Prozesses angestrebt. Die generierten Mehrwerte stellen einerseits die Ergebnisse der Erwartungen und Herausforderungen der Prozessbeteiligten und andererseits die Validierungsgrundlage für den BIM-Soll-Prozess dar.

2.2.2. Prä-Analyse

Die vorgelagerte Perspektivenanalyse (Prä-Analyse) erfolgte in einem Workshop mit den Experten des Projektkonsortiums. Die Analyse hatte zum Ziel, Thesen für die nachgelagerte Perspektivenanalyse abzuleiten und zu formulieren. Die gewonnenen Thesen sollen zentrale Herausforderungen und Erwartungen der unterschiedlichen Stakeholder widerspiegeln und anhand der Perspektivenanalyse widerlegt oder nachgewiesen werden. Mit den somit gewonnenen Erkenntnissen lassen sich die am Ende zu generierenden Empfehlungen validieren.

Es wurden Herausforderungen und Erwartungen der beschriebenen Disziplinen an den derzeitigen und einen zukünftigen Zertifizierungsprozess erarbeitet. Der Teilnehmerkreis des Workshops bestand aus Architekten, Auditoren, Gebäudenutzern, Planern, Wissenschaftlern, IT-Beratern und BIM-Experten. Die priorisierten Ergebnisse der Prä-Analyse sind in Abbildung 6 dargestellt.

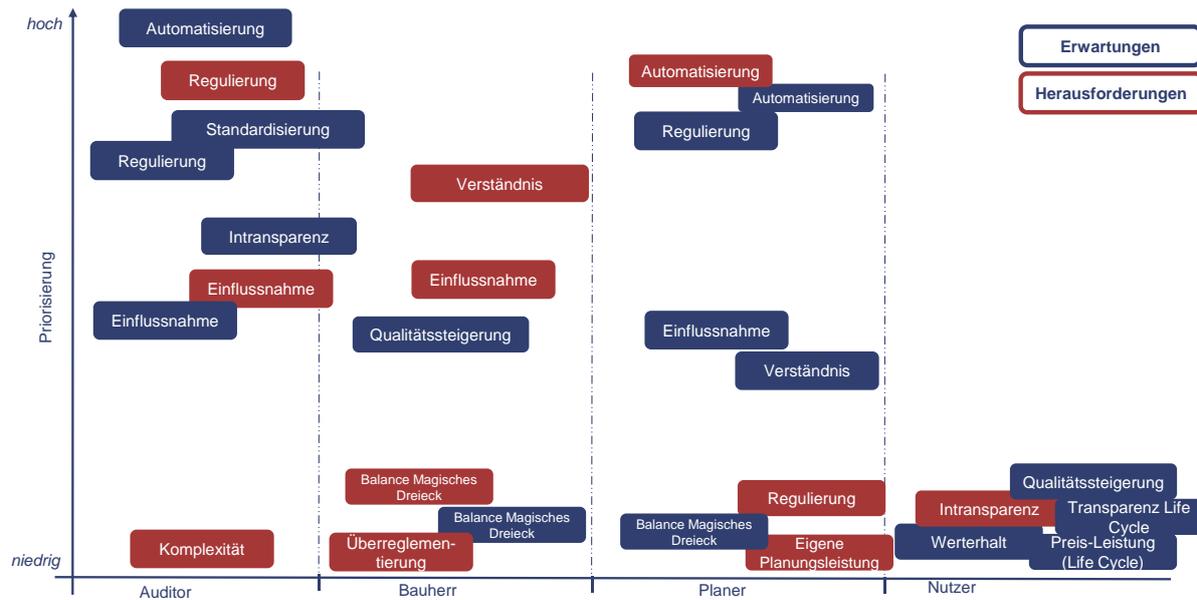


Abbildung 6: Priorisierte Ergebnisse der Prä-Analyse (eigene Darstellung)

Ergebnis ist der erhöhte Anspruch und Wunsch nach Automatisierung von Planungs- und Zertifizierungsprozessen (bspw. Softwaretools, automatisierte Lastenhefte, parametrisierbare Bauteilkataloge), Standards im Umgang mit Nachhaltigkeitsaspekten und verknüpfter digitaler Prozesse sowie politischer Steuerung. Fehlende gesetzliche Vorschriften und Intransparenz von Zertifizierungs- und Planungsprozessen, mangelnde Softwaretools zur digitalen und (teil-) automatisierten Bearbeitung von Zertifizierungsprozessen und ein derzeit unzureichend disziplinäres und interdisziplinäres Verständnis der Nachhaltigkeit stellen Herausforderungen dar und sind in der weiteren Bearbeitung des Forschungsprojekts zu berücksichtigen.

2.2.3. Thesenbildung

Die Ergebnisse der Prä-Analyse stellen die Grundlage für die Thesenbildung und der folgenden Umfrage zur Nachhaltigkeit im Bauwesen dar. Aus den priorisierten Erwartungen und Herausforderungen wurden die drei Thesen zur Validierung abgeleitet:

1. Es fehlt ein ausreichendes und einheitliches Verständnis der Nachhaltigkeit von Gebäuden.
2. Es werden zusätzliche Leitplanken, Regelwerke und Standards zur Bewertung der Nachhaltigkeit (insbesondere in Verbindung mit BIM) benötigt.
3. Die Anwendung der BIM-Methodik birgt die Chance die Nachhaltigkeit von Gebäuden sowie die Effizienz des Zertifizierungsprozesses zu steigern.

2.2.4. Thesenbewertung

Für die Bewertung der Thesen wurde ein Personenfeld aus verschiedenen ausgewählten Disziplinen im Bereich der Nachhaltigkeitszertifizierung in Online-Umfragen befragt. Die im Voraus festgelegten Disziplinen sind:

- (Fach)-Planer

- Auditor
- Bauherr
- Facility Manager
- Gebäudenutzer.

Die Umfrage erfolgte mit Teilnehmern aus Deutschland, Österreich und der Schweiz.

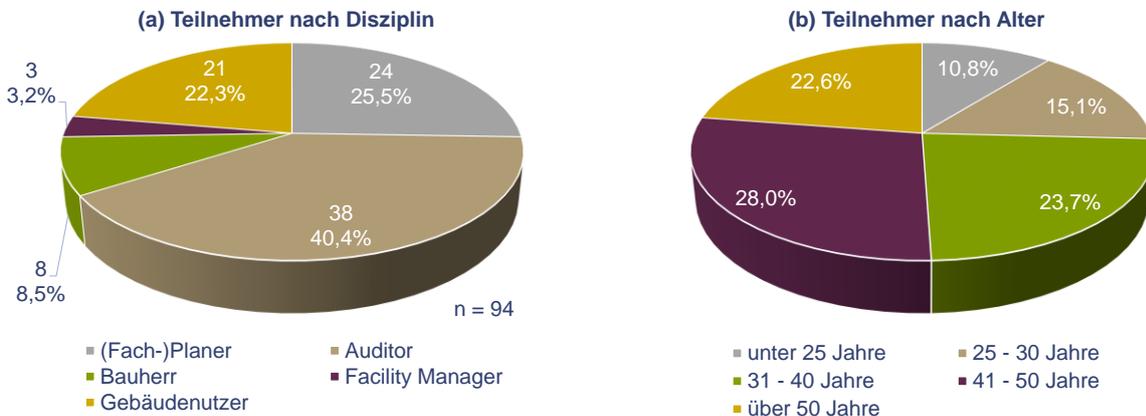


Abbildung 7: Teilnehmerverteilung nach (a) Disziplin und (b) Alter in der durchgeführten Online-Umfrage (Eigene Darstellung)

38 der 94 (40,4 %) Teilnehmer ordneten sich der Disziplin Auditor zu, die somit den größten Anteil bei den Teilnehmern nach Disziplinen darstellten. Die Disziplinen (Fach-) Planer und Gebäudenutzer mit 24 bzw. 21 Befragten stellen die zweit- bzw. drittgrößte Disziplin dar (vgl. Abbildung 7 a). Mehr als 50 % der Teilnehmer waren zum Zeitpunkt der Befragung über 40 Jahre alt. Es ist davon auszugehen, dass bei diesen Teilnehmern langjährige Erfahrungen in der jeweiligen Disziplin vorliegen und vertraute Arbeitsstrukturen vorliegen. 25,9 % der befragten Teilnehmer waren zum Zeitpunkt der Befragung 30 Jahre oder jünger und sind als Berufseinsteiger einzustufen (vgl. Abbildung 7 b).

Die Fragen wurden in fünf Kategorien (Allgemeine Informationen zu Befragten, Nachhaltigkeit (allgemein), Nachhaltigkeitszertifizierung, Building Information Modeling, Querschnittsfragen BIM, Nachhaltigkeit und Zertifizierung) gegliedert. In den jeweiligen Kategorien (ohne Allgemeine Informationen zu Befragten) stellte die Beurteilung und Beantwortung von Fragen zu Herausforderungen und Effekten durch die stärkere Beachtung der genannten Themen den Kern dar. Die Bereitstellung und Beantwortung der Einzelfragen erfolgte durch die jeweilig relevanten Disziplinen.

Die Ergebnisse der Online-Umfrage werden für die Bewertung der Thesen auszugsweise und themenspezifisch dargestellt.

Bewertung der These 1

„Es fehlt ein ausreichendes und einheitliches Verständnis der Nachhaltigkeit von Gebäuden.“

Bei den befragten Teilnehmern (ausschließlich Gebäudenutzer) kommen verschiedene Zertifizierungssysteme zur Anwendung. Das DGNB Zertifizierungssystem wird durch 38,1 % der

befragten Teilnehmer, das LEED durch 20,5 %, das BREEAM durch 14,8 % sowie BNB durch 12,5 % der befragten Teilnehmer angewendet (vgl. Abbildung 8).

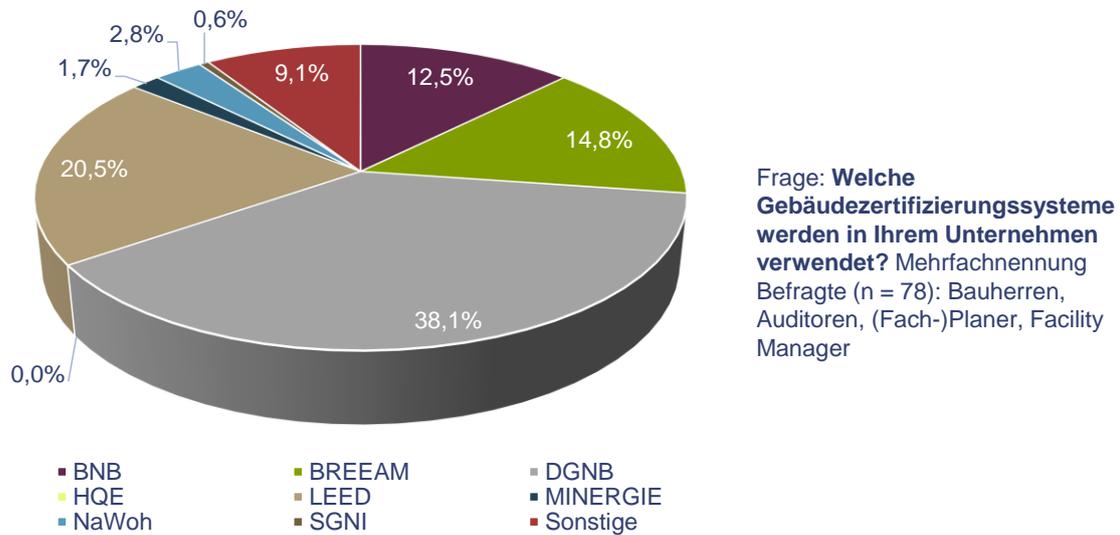


Abbildung 8: Anwendungsgewichtung von Zertifizierungssystemen (Eigene Darstellung)

Die Zertifizierung von Gebäuden in Deutschland, Österreich und der Schweiz ist durch die Anwendung der unterschiedlichen Zertifizierungssysteme differenziert zu bewerten und es erzeugt kein einheitliches Zertifizierungsbewusstsein im deutschsprachigen Raum. Durch die verschiedenen Ausprägungen (siehe Kapitel 2.1) der einzelnen Systeme lässt sich eine differenzierte Schwerpunktlegung bei der Auswahl dieser und damit bei der Bewertung der Nachhaltigkeit feststellen.

77,9 % der Befragten gaben zusätzlich zur unterschiedlichen Verwendung der Zertifizierungssysteme an, dass kein ausreichendes Verständnis der Nachhaltigkeit bei den am Planung und am Bau Beteiligten herrsche. 76,5 % der Umfrageteilnehmer bestätigen weiterhin ein uneinheitliches Verständnis der Nachhaltigkeit und erkennen dies als Herausforderung auf disziplinärer und interdisziplinärer Ebene an (vgl. Abbildung 9).

Frage: **Sind Ihnen folgende Herausforderungen durch die steigende Beachtung von Nachhaltigkeit schon begegnet?** Befragte (n = 78): Bauherren, Auditoren, (Fach-)Planer, Facility Manager



Antwort: **Kein ausreichendes Verständnis der an Planung und Bau Beteiligten**



Antwort: **Fehlendes einheitliches Verständnis der an Planung und Bau Beteiligten**

Abbildung 9: Umfrage zum einheitlichen Verständnis von Nachhaltigkeit als Herausforderung (Eigene Darstellung)

Bewertung der These 2

„Es werden zusätzliche Leitplanken, Regelwerke und Standards zur Bewertung der Nachhaltigkeit (insbesondere in Verbindung mit BIM) benötigt.“

Die Bewertung der These 1 hat gezeigt, dass ein uneinheitliches und kein ausreichendes Verständnis der Nachhaltigkeit bei den an Planung und Bau Beteiligten vorliegt. Die vorliegenden Leitplanken, Regelwerke und Standards fördern somit dieses Verständnis nicht ausreichend. Der Großteil des befragten Teilnehmerkreises stufte fehlende Richtlinien sowie eine intransparente Bewertung des Zertifizierungsprozesses nicht als Herausforderung im Zertifizierungsprozess ein. Es liegen nach Einschätzung der Befragten genügend Leitplanken, Regelwerke und Standards für den Umgang von Nachhaltigkeitsaspekten und deren Bewertung vor. Höhere Qualitätsanforderungen, eine gesteigerte Komplexität der zu zertifizierenden Gebäude und der damit verbundene erhöhte Arbeitsaufwand werden als große Herausforderungen im Umgang mit Zertifizierungssystemen der Nachhaltigkeit gesehen (vgl. Abbildung 10). Die Anwendung der Methode BIM kann den Zertifizierungsprozess unterstützen und erleichtern.

Frage: **Sind Ihnen folgende Herausforderungen durch Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme schon begegnet?** Befragte (n = 78): Bauherren, Auditoren, (Fach-)Planer, Facility Manager



Abbildung 10: Herausforderungen bei Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen (Eigene Darstellung)

Die Herausforderungen in der Methode BIM liegen nach Beurteilung der Teilnehmer in den Bereichen der Komplexität der Methodik, des daraus resultierenden erhöhten Arbeitsaufwandes, fehlenden Datenschnittstellen und dem damit verbundenen schwierigen Datenaustausch (vgl. Abbildung 11). Für die Reduzierung der Herausforderungen sind Leitplanken und Standards zu definieren, die die Integration der Methode BIM in den Zertifizierungsprozess standardisieren und die Zertifizierungsprozesse effizienter gestalten.

Frage: **Sind Ihnen folgende Herausforderungen bei der Einführung von BIM in den Planungs- und Bauprozess schon begegnet?** Befragte (n = 78): Bauherren, Auditoren, (Fach-)Planer, Facility Manager



Abbildung 11: Herausforderungen bei der Einführung der Methode BIM (Eigene Darstellung)

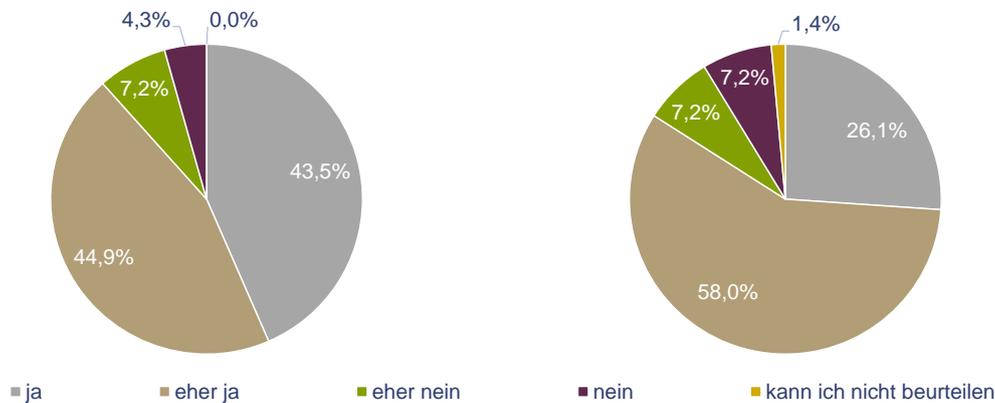
Bewertung der These 3

„Die Anwendung der BIM-Methodik birgt die Chance die Nachhaltigkeit von Gebäuden sowie die Effizienz des Zertifizierungsprozesses zu steigern.“

Der Einsatz der Methode BIM im Rahmen des Zertifizierungsprozesses von nachhaltigen Gebäuden erzeugt bei den Teilnehmern die Erwartung einer Erleichterung des Zertifizierungsprozesses. Die Ergebnisse zeigen, dass der Automatisierung von Zertifizierungsmaßnahmen sowie die Bereitstellung von digitalen Bauwerksmodellen in frühen Planungsphasen besondere Bedeutung in der Entwicklung zugesprochen werden. Ein automatisiertes Lastenheft könne den Zertifizierungsaufwand ebenfalls verringern und die Prozesse somit effizienter gestalten (vgl. Abbildung 12).

Frage: **Würden Sie die Möglichkeit begrüßen, ein digitales Bauwerksmodell schon in frühen Planungsphasen automatisiert auf Vereinbarkeit mit einem Gebäudezertifizierungssystem prüfen zu können?**

Frage: **Würde sich der Zertifizierungsaufwand durch ein automatisiert geführtes Lastenheft verringern?**



Befragte (n = 78): Bauherren, Auditoren, (Fach-)Planer, Facility Manager

Abbildung 12: Einführung von BIM in Zertifizierungsprozesse (Eigene Darstellung)

Durch die Einführung der Methode BIM in den Zertifizierungsprozess zur Nachhaltigkeit eines Gebäudes wird nach Einschätzung der Teilnehmer die intransparente Bewertung innerhalb der Zertifizierungsprozesse reduziert. Ebenfalls können der erhöhte Zeitaufwand sowie der damit verbundene Arbeitsaufwand verringert werden. Den größten positiven Effekt durch die Einführung der Methode BIM wird der Übermittlung von Bauplänen und erforderlichen Daten zugerechnet, erschwerte Planungsprozesse aufgrund steigender Gebäudeanforderungen sind laut den Teilnehmern nicht effektiver zu behandeln (vgl. Abbildung 13).

Frage: **Welchen Effekt erwarten Sie durch die Implementierung von BIM auf genannte Probleme der Gebäudezertifizierung?** Befragte (n = 78): Bauherren, Auditoren, (Fach-)Planer, Facility Manager

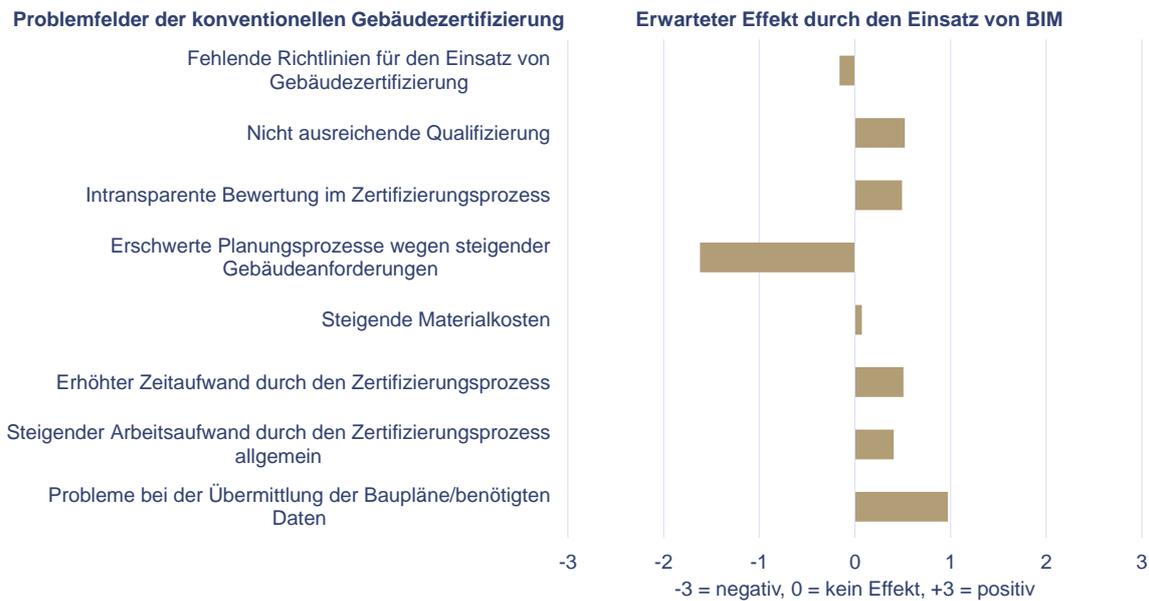


Abbildung 13: Effekt durch die Methode BIM auf aktuelle Probleme bei der Gebäudezertifizierung (Eigene Darstellung)

2.2.5. Zusammenfassung der Thesenbewertung

Die Bewertung der Thesen belegte durch die Auswertung der durchgeführten Umfrage unter Berücksichtigung verschiedener Perspektiven bei insgesamt 77,9 % der befragten Teilnehmer ein uneinheitliches und bei 76,5 % nicht ausreichendes allgemeines Verständnis des Begriffes Nachhaltigkeit zum Zeitpunkt der Umfrage.

Für die aktuelle Bewertung und Durchführung der einzelnen Nachhaltigkeitszertifizierungen liegen Standards, Richtlinien und Leitblanken vor und es ist laut Umfrageteilnehmern keine zusätzliche Beschreibung der einzelnen spezifischen konventionellen Zertifizierungsprozesse notwendig. Die Einführung der Methode Building Information Modeling kann jedoch im Zertifizierungsprozess einen positiven Effekt z. B. auf die notwendige Zeitaufwendung, den benötigten Arbeitsaufwand und die Übermittlung von notwendigen Daten zwischen den einzelnen Prozessbeteiligten erzeugen und die Prozesse somit erleichtern. Für die Beherrschung der festgestellten Komplexität der neuen Methodik und der laut Teilnehmern nicht ausreichend beschriebenen Datenschnittstellen sind jedoch zusätzliche Standards und Richtlinien für den BIM-basierten Zertifizierungsprozess zu definieren. Die Einführung von Standards und automatisierenden Prozessen in der Nachhaltigkeitszertifizierung, z. B. in Form von automatisiert geführten Lastenheften, können durch die Verknüpfung von BIM und dem konventionellen Zertifizierungsprozess effizienter durchgeführt werden.

2.3. Prozessmodellierung

2.3.1. konventionelle Prozessmodellierung

Die Ermittlung des konventionellen Prozesses der Gebäudezertifizierung erfolgte anhand eines Beispiel-Neubauprojektes, der Frankfurt School of Finance & Management in Frankfurt am Main und soll als Adaption und Grundlage für die Entwicklung des BIM-Sollprozesses dienen. Die Zertifizierungsmaßnahme des Objektes wurde von Herrn Dr. Günter Löhnert, geprüfter DGNB-Auditor für die Nutzungsprofile Gebäude und Quartiere, der sol-id-ar planungswerkstatt durchgeführt. Für die Prozessaufnahme wurden zwischen Herrn Dr. Löhnert und dem Institut für Baumanagement und Digitales Bauen Interviews geführt und zur Verfügung gestellte Prozessdokumentationen und Bewertungsmatrizen ausgewertet, um die Vorgehensweise, die Auswertungsmethodik und Kommunikation im Zertifizierungsprozess anhand eines Praxisprojektes festzustellen und nachfolgend in mehreren BPMN-Teilprozessmodellen festzuhalten.



Abbildung 14: Frankfurt School of Finance & Management [12]

Bei dem zertifizierten Gebäude handelt es sich um den Neubau der Frankfurt School of Finance & Management, welches im Jahr 2019 ein DGNB-Zertifikat in Platin erhalten hat [13]. Das Bauprojekt hat ein Investitionsvolumen von 110 Millionen Euro, verfügt über eine Bruttogrundfläche von 37.880 m² und repräsentiert eine Mischnutzung aus Büro-, Verwaltungs- und Bildungsbau. Das Bauwerk wurde nach dem DGNB-Nutzungsprofil MIX 12 (Nutzungsmix aus Bildung / Büro Version 2012) zertifiziert. Eine definierte Ausrichtung auf Nachhaltigkeit wurde bereits durch eine intensive Grundlagenermittlung und die Verankerung von Zielsetzungen im Wettbewerbsverfahren erreicht. Während der Planungs- und Bauphase wurde die Nachhaltigkeitsbewertung parallel aufgebaut und entsprechend dem Fortschritt aktualisiert und detailliert. Zur Prozessmodellbildung wurde auf eine Datenbasis in Form von Zertifizierungsnachweisen,

E-Mails zwischen den beteiligten, Notizen sowie den Lasten- und Pflichtenheft des Auditors zurückgegriffen.

Die Anwendung einer BPMN 2.0-normierten Software überführt den Prüfverfahrensablauf in eine digitale Repräsentation, welche in einem standardisiert interoperablen Format vorliegt. Prozessmodelle lassen sich anhand der BPMN 2.0 Symbolik und Methodik durch Aktivitäten strukturieren, die durch Verknüpfungen in Relation zueinander gesetzt werden. Außerdem können diesen Tätigkeiten Ressourcen und/oder zusätzliche Informationen zugeordnet werden. Ein solches Prozessmodell ist für die Darstellung von Planungs-, Bewertungs- und Zertifizierungsprozessen sowie deren Untersuchung auf effizientere Workflows und möglicherweise Restrukturierung von konventionellen Abläufen geeignet.

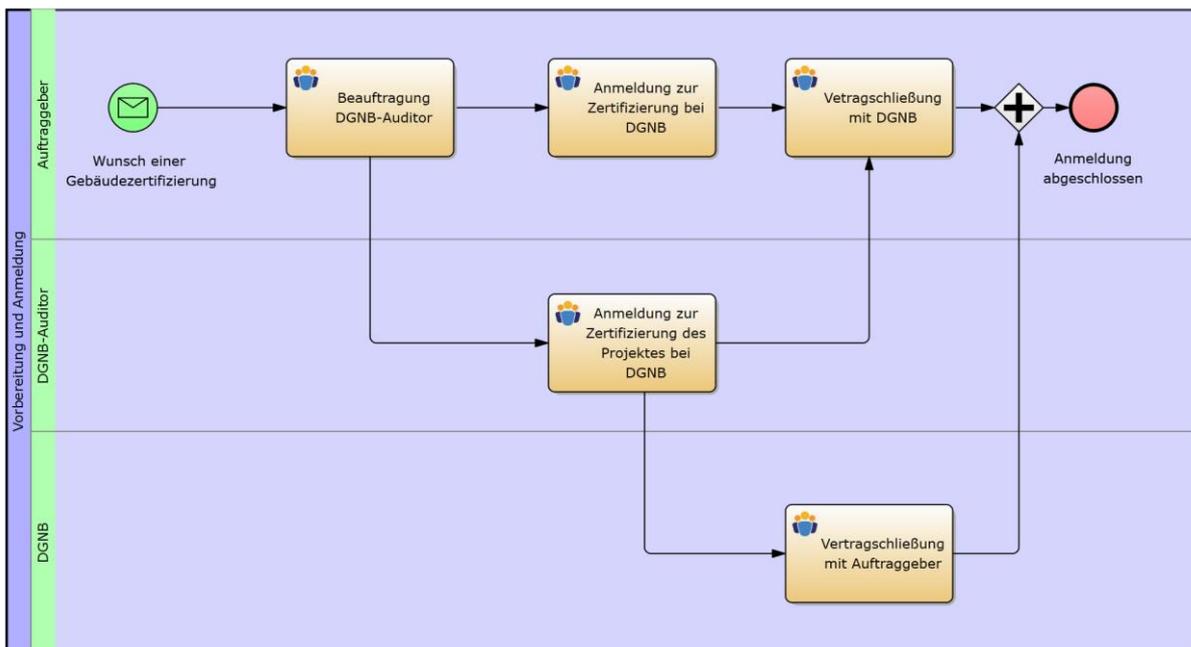


Abbildung 15: konventioneller Prozess - Vorbereitung und Anmeldung der Zertifizierung bei der DGNB (Eigene Darstellung nach [14])

Der Prozess der Zertifizierung berücksichtigt insgesamt vier beteiligte Gruppen, die für die Einhaltung und Erfüllung der Zertifizierungskriterien notwendig sind. Die Beauftragung und der Wunsch einer DGNB-Zertifizierung erfolgt durch den Auftraggeber (kurz: AG) des Bauobjektes an den DGNB-Auditor (vgl. Abbildung 15: konventioneller Prozess - Vorbereitung und Anmeldung der Zertifizierung bei der DGNB (Eigene Darstellung nach [14])).

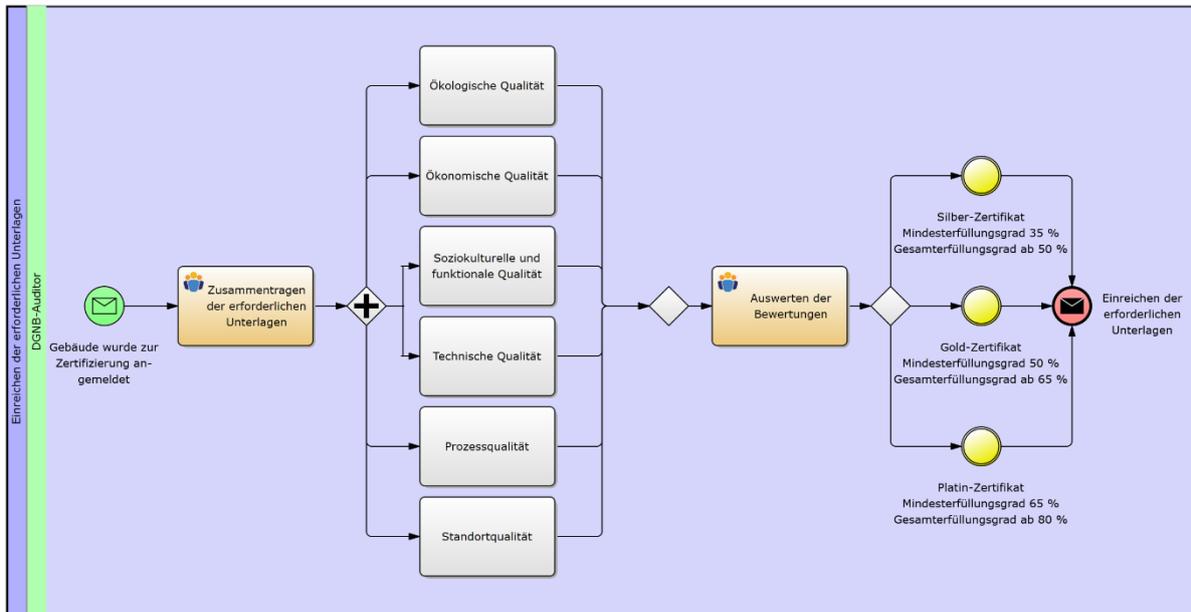


Abbildung 16: konventioneller Prozess - Einreichen der erforderlichen Unterlagen für die Zertifizierung bei der DGNB (Eigene Darstellung nach [14])

Nach Anmeldung des Gebäudes für die Zertifizierung bei der DGNB werden für die inhaltliche Prüfung zunächst die erforderlichen Unterlagen durch den DGNB-Auditor gesammelt und zusammengestellt. Die relevanten Informationen der einzelnen Dimensionen, die benötigt werden, um das Lastenheft der DGNB im gewünschten Mindesterfüllungsgrad zu erfüllen, sind bei den unterschiedlichen Beteiligten, die unter anderem durch die einzelnen Gewerke des Planungsprozesses dargestellt werden, einzufordern. Die dezentrale Datenbasis führt zu einem hohen Potenzial an möglichen Informationsverlusten und erfordert eine regelmäßige Überprüfung der Daten und Nachweise durch den DGNB-Auditor. Somit stellt auch die fortlaufende Kommunikation zwischen den einzelnen Fachgewerken, dem Auftraggeber und dem Auditor ein wichtiges Teil des Zertifizierungsprozesses dar, um Änderungen in Planung und Bau frühzeitig für den Zertifizierungsprozess zu beurteilen.

Die Koordination dieses DGNB-Zertifizierungsprojektes erfolgte ganzheitlich durch den DGNB-Auditor mit eigens erstellten Pflichtenheft für den Zertifizierungsprozess. Der Wechsel von verschiedenen Fachplanern sowie des Objektplaners mit Beginn der Ausführungsplanung und damit einhergehenden neuen Informationsflüssen zwischen neuen und alten Beteiligten sowie Informationsverlusten konnten durch den Einsatz des definierten Pflichtenheftes im Gesamtbauprozess minimiert werden.

Die Zusammenstellung der Informationen und Nachweise aus den sechs unterschiedlichen Dimensionen gibt Aufschluss über den Erfüllungsgrad der Zertifizierungsanforderungen. Vor jedem Projektstart ist die gewünschte Zertifizierungsstufe und somit der Gesamterfüllungsgrad festzulegen und in dem genannten Pflichtenheft festzuhalten und zu kommunizieren. Ein fortlaufender Soll-Ist-Vergleich der Zertifizierungskriterien während der Projektlaufzeit ist anzustreben. Je nach Gesamterfüllungsgrad folgt bei einer Minimalgrenze von 35 % des Gesamterfüllungsgrades eine Platin-, Gold- oder Silber-DGNB-Zertifizierung des Objektes (vgl. Abbildung 16).

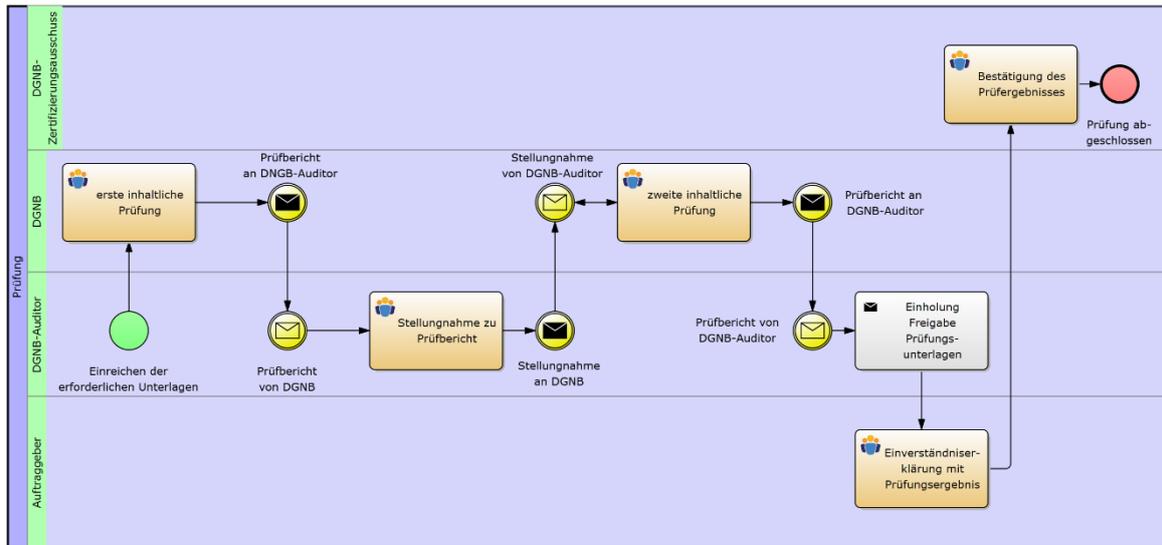


Abbildung 17: konventioneller Prozess - Prüfung der DGNB-Zertifizierung (Eigene Darstellung nach [14])

Nach Übermittlung der erforderlichen Unterlagen erfolgt zwischen der DGNB und Auditor eine iterative inhaltliche Prüfung und Überarbeitung der Unterlagen. Final wird das Prüfungsergebnis mit dem AG abgestimmt und evtl. notwendige Optimierungen angestoßen, bevor es durch den DGNB-Zertifizierungsausschuss genehmigt wird und die Prüfung geschlossen wird (vgl. Abbildung 17).

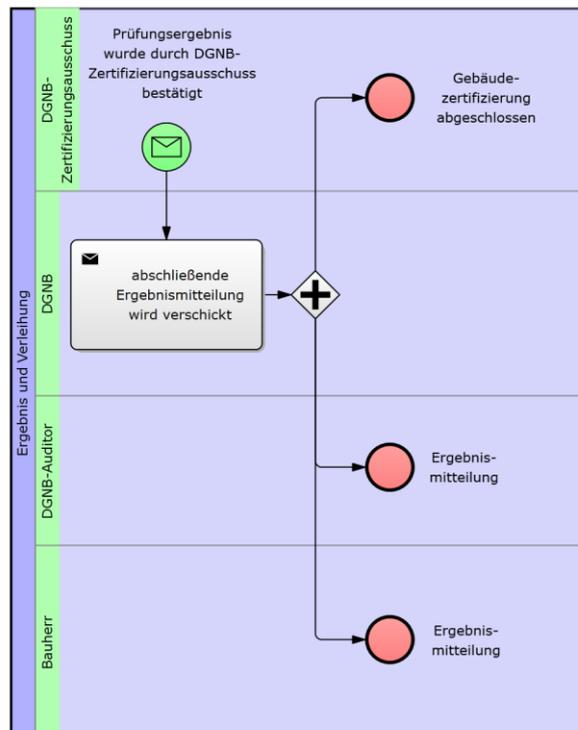


Abbildung 18: konventioneller Prozess - Ergebnis und Verleihung der DGNB-Zertifizierung (Eigene Darstellung nach [14])

Nach abgeschlossener erfolgreicher Prüfung folgt die Ergebnismitteilung und Zertifizierung des Gebäudes (vgl. Abbildung 18).

Zusammenfassend sind folgende Schwerpunkte für eine Optimierung des konventionellen Prozesses von besonderer Bedeutung:

- frühzeitige Festlegung auf zertifikatsbestimmende Faktoren
- verbesserte und transparente Kommunikation zwischen allen Beteiligten
- zuverlässiger Umgang mit Termin- und Austauschverbindlichkeiten
- zentrale Datenhaltung und standardisierte Prüfabläufe.

2.3.2. Der openBIM-Ansatz

Durch die Vielzahl an Beteiligten am Planungsprozess von Bauprojekten ergibt sich eine starke Heterogenität der Softwarelandschaft. Ausgehend von einer Vielzahl an beteiligten Fachdisziplinen (Architektur, TGA, Tragwerksplanung usw.) ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die nativen Softwareprodukte der Gewerke. Eine proprietäre Lösung, also die Zusammenarbeit aller Projektbeteiligter in einer Software, ist somit in den seltensten Fällen möglich. Daher hat sich die Non-Profit-Organisation buildingSMART das Ziel gesetzt, durch ein herstellernunabhängiges Datenformat eine allumfängliche Möglichkeit zur Beschreibung von digitalen Bauwerksmodellen zu schaffen. Die Organisation entwickelt und schreibt das Datenformat Industry Foundation Classes (IFC) fort, welches eine umfangreiche Datenstruktur zur Beschreibung von Objekten des Bauwesens bereitstellt und dadurch Interoperabilität ermöglicht. Das IFC Format wurde 2013 in einen ISO-Standard überführt und bildet damit die Grundlage zur Umsetzung des openBIM-Ansatzes [15]. Im Gegensatz zu einem closedBIM-Ansatz, bei welchem geschlossene Softwarelösungen verwendet werden, wird durch Anwendung des IFC-Formates der herstellernerneutrale Austausch von Modelldaten zwischen der Fachdisziplin ermöglicht. In seiner aktuellsten Version IFC 4 wird das Format von zahlreichen BIM-Programmen unterstützt und sorgt mit seiner Neutralität und offen zugänglicher Datenstrukturdefinition für einen herstellernerneutralen Datenaustausch aller Projektbeteiligten.

Neben dem IFC-Format stellt das BIM Collaboration Format (BCF) ein offenes Austauschformat für die Unterstützung der Kommunikation in BIM-Projekten im Rahmen eines openBIM-Ansatzes dar. Das Format basiert auf dem XML-Schema und bietet die Möglichkeit modellbasierte und objektreferenzierende Anmerkungen und Kommentare zu erzeugen. Dazu besteht die BCF-Datei aus drei Bausteinen: Dem eigentlichen Kommentar zum modellreferenzierten Abstimmungspunkt, den Viewkoordinaten auf Basis des digitalen Gebäudemodells und einer Bilddatei, welche die aktuelle Ansicht enthält. Durch die BCF-Datei kann ein offenes Problem/Planungsfehler erzeugt werden und mit den weiteren Projektbeteiligten ausgetauscht werden. Der Empfänger, bzw. der Verantwortliche kann entsprechend Problembehebungen am Modell durchführen und weitere Kommentare, sowie ein Statusupdate an den Ersteller zurückspielen. Nach Behebung der Abstimmungspunkte, kann das BCF-Issue geschlossen und archiviert werden.

Da die Erarbeitung von Möglichkeiten zur Nachhaltigkeitsabbildung in digitalen BIM-Modellen im Rahmen dieses Forschungsprojektes unabhängig von spezifischen Softwareprodukten erfolgt, wird für das gesamte Forschungsprojekt der openBIM-Ansatz angewandt. Die Abbildung

von Nachhaltigkeitsanforderungen und die notwendigen Informationsanforderungen werden allgemeingültig definiert und unabhängig von verwendeten Softwareprodukten dargestellt. Die Umsetzung und Pilotierung der erarbeiteten Prozesse wird unter Anwendung von nativen Softwareprodukten durchgeführt, eine Adaptierung auf weitere Applikationen zur Modellerstellung und Modellprüfung, sowie für die Projektkollaboration soll jedoch zu jedem Zeitpunkt durch Verwendung des IFC- und BCF-Formates gewährleistet werden.

2.3.3. BIM-Prozessmodellierung

Ziel der Aufstellung des BIM-Sollprozesses ist es die Ineffizienzen der dezentralen Datenhaltung und Kommunikation innerhalb des konventionellen Zertifizierungsprozesses durch die Anwendung digitaler Methoden zu minimieren und durch den Aufbau eines prozessualen BIM-Prozessmodells ein strukturiertes Workflow-Management für die Betrachtung von Nachhaltigkeitsaspekten vor allem in frühen Planungsphasen zu erstellen. Dazu wurde in einem ersten Schritt ein Prozessmodell für die Darstellung von Workflows der planungsbeteiligten Institutionen auf Grundlage der grafischen Repräsentation BPMN unter Berücksichtigung des aktuellen Standes der Forschung der Methode BIM erstellt. In einem nächsten Schritt des Forschungsprojektes wurde dieser Prozess mittels Durchführung eines Simulationsworkshops mit allen Projektbeteiligten am Institut für Baumanagement und Digitales Bauen validiert und auf seine Praxistauglichkeit untersucht. Anschließend wurden die Ergebnisse der Prozessvalidierung transferiert, um die Ergebnisse in die Erstellung von Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) und BIM-Abwicklungsplan (BAP), und somit eine frühzeitige Festlegung von zertifikatsbestimmenden Faktoren, Kommunikations- und Datenstandards schafft, für die Pilotierung und die Handlungsempfehlungen einfließen zu lassen. Nach Erstellung eines ersten Entwurfes der AIA- und BAP-Dokumente unter Berücksichtigung der erarbeiteten Nachhaltigkeitsaspekte, wurden diese von den BIM-Spezialisten des Projektteams auf ihre Konsistenz und Praxistauglichkeit überprüft.

Die Gesamtheit der Prozesssimulationsergebnisse bilden abschließend die Grundlage für den Aufsatz des projektbezogenen Pilotbetriebes. Im Folgenden sind die einzelnen Schritte zur Erarbeitung und Validierung des BIM-Sollprozesses zur Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in digitale Gebäudemodelle detailliert beschrieben.

Im Laufe des Forschungsprojektes wurde das aufgenommene und dokumentierte (konventionelle) Prozessmodell inhaltlich analysiert, um Ineffizienzen innerhalb des Prozesses aufzuzeigen. Die daraus resultierenden Ergebnisse dienen u.a. dem Aufbau eines prozessualen BIM-Prozessmodells für ein später strukturiertes Workflow-Management zur Betrachtung von Nachhaltigkeitsaspekten und Zertifizierungsbelangen in frühen Planungsphasen.

Grundlegend definiert sich ein Prozess als Ablauf von Aktivitäten mit definierten Anfangs- und Endpunkt, um ein spezifisches Ziel zu erreichen. Übertragen auf die BIM-Methodik heißt dies, dass durch die prozessuale Beschreibung und Durchführung eines BIM-Anwendungsfalls ein definiertes BIM-Ziel erreicht werden kann [2]. Der Ablauf eines Prozesses folgt im Weiteren der standardisierten und grafischen Repräsentation BPMN 2.0. Ein projektspezifischer BIM-Anwendungsfall sollte ebenfalls der Notation folgend beschrieben werden, wobei Abfolgen

durch die Zuordnung von zuständigen Rollen und Verantwortlichkeiten beschrieben werden können. Eine genaue Spezifikation des Ablaufes kann durch die Zuordnung von Erstellungs- und/oder Durchführungsmethodik des Zertifizierungsnachweises erreicht werden. Ebenso kann auf diese Weise beschrieben werden, wie und in welcher Softwareumgebung Nachhaltigkeitsnachweise erbracht werden. Eine Zuordnung von Informationsart (z.B. geometrisch oder semantisch und generisch oder spezifisch) und des Datenaustauschformats (bspw. PDF, IFC, BCF oder .xml) ist des Weiteren möglich. Das definierte BIM-Ziel kann durch einen auf diese Weise strukturierten BIM-Workflow detailliert beschrieben werden. Je nach Detaillierungsgrad der Prozessbeschreibung können zusätzliche Informationen über Beschreibungen hinzugefügt werden, welche keiner Standardisierung folgen. Nachfolgend ist ein Ausschnitt des erarbeiteten BIM-Prozessmodells für die modellgestützte Nachweisführung dargestellt, in welchem die Nachhaltigkeitsbewertung des Kriteriums Barrierefreiheit für Sanitäre Anlagen dargestellt ist.

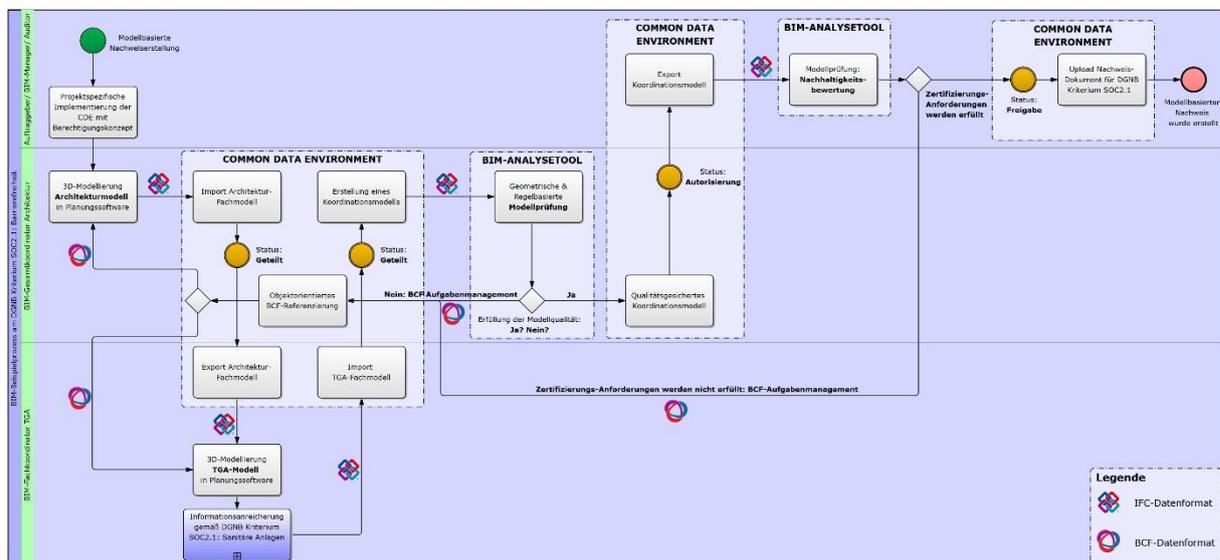


Abbildung 19: Teilprozess Barrierefreiheit Sanitäre Anlagen, Quelle: Eigene Darstellung in IYOPRO (Eigene Darstellung)

Durch die Erstellung dieser so beschriebenen Workflows lassen sich GreenBIM-Templates für die Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in BIM ableiten. Auf die Inhalte der Teilprozesse und deren Erarbeitung wird im weiteren Verlauf dieses Berichtes eingegangen.

Durch die digitale Form sind diese editierbar und dynamisch auswertbar, weshalb sie auf individuelle Geschäftsmodelle, Softwareanwendungen und Arbeitsprozesse anpassbar sind.

2.4. Rollenkonzept innerhalb des BIM-Prozesses

Durch die Anwendung der BIM-Methode ergeben sich im Zuge der Abwicklung von Bauprojektes neue Projektrollen, welche die Aufgabenbereiche der konventionellen Projektrollen ergänzen. Dabei müssen diese neuen Projektrollen, vor allem bei kleineren Projekten nicht durch zusätzliche Planungsbeteiligte besetzt werden, sondern können in Personalunion ausgeführt werden. Folgend werden die Projektrollen in einem BIM-Projekt kurz dargestellt und die Erweiterung um die Rolle des Nachhaltigkeitsauditors im Rahmen des BIM-Sollprozesses beschrieben.



Abbildung 20: Projektrollen und Verantwortlichkeiten in BIM-Projekten [16]

Der BIM-Manager wird vom Auftraggeber gestellt und übernimmt die Dokumentation und Zusammenstellung der projektspezifischen BIM-Anforderungen des Auftraggebers. Diese werden in den AIA festgeschrieben und enthalten u. a. Vorgaben zu Modellanforderungen, Dateistandards und projektspezifischen Rollen. Der BIM-Manager prüft die erbrachten Leistungen des Auftragnehmers auf Einhaltung der in den AIA definierten Informationsanforderungen. Im Rahmen von Projekten zur Abbildung von Nachhaltigkeitsanforderungen im digitalen Gebäudemodell, sind durch den BIM-Manager die Nachhaltigkeitsziele und die damit einhergehenden Anforderungen an den semantischen Content des Bauwerksmodells zu definieren und in den AIA festzuhalten.

Der BIM-Gesamtkoordinator übernimmt die auftragnehmerseitige Rolle im BIM-Projekt, stellt den direkten Projektpartner des BIM-Managers dar und verantwortet die Umsetzung der in den AIA definierten BIM-Leistungen auf Auftragnehmerseite. Dafür erstellt der BIM-Gesamtkoordinator zu Projektstart den BIM-Projektentwicklungsplan (BAP) auf, welcher die Umsetzung der Anforderungen aus den AIA spezifiziert. Dazu übernimmt er das Zusammenführen und Prüfen der Fachmodelle, sowie die Qualitätssicherung der erbrachten BIM-Leistungen. Der BIM-Gesamtkoordinator ist in Projekten zur Abbildung von Nachhaltigkeitsanforderungen in digitalen Gebäudemodellen, für die Sicherstellung von Qualität und Vollständigkeit aller notwendigen Informationsanforderungen und für die modellbasierte Prüfung von Nachhaltigkeitskriterien zuständig. Dazu steht er in durchgängigem Austausch mit den BIM-Fachkoordinatoren, welche für die Umsetzung der BIM-Leistung in ihrer Fachdisziplin zuständig sind.

Die BIM-Fachkoordinatoren sind mit Ihren Teams der BIM-Anwender für die operative Umsetzung der BIM-Leistung zuständig. In Bezug auf die Implementierung von Modellcontent der Nachhaltigkeitsabbildung umfasst dies die Anreicherung des Modells mit den notwendigen Informationen und die softwareseitige Umsetzung der Vorgaben aus den AIA und BAP-Dokumenten. Zusätzlich unterstützt der BIM-Gesamtkoordinator den Nachhaltigkeitsauditor bei der Anwendung von Softwaretool zur modellgestützten Nachweisführung für eine planungsbegleitende Vorzertifizierung auf Basis des BIM-Modells.

Eine besondere Rolle im BIM-Projekt wird dem Nachhaltigkeitsauditor zu teil. Dieser wird durch den Auftraggeber für die Gebäudezertifizierung beauftragt. Die Einbindung des Auditors in den Planungsprozess sollte dabei zu einem möglichst frühen Zeitpunkt erfolgen, um die Nachverfolgung der Nachhaltigkeitsziele effizient zu gestalten. Im Zuge des BIM-Projektes steht der Nachhaltigkeitsauditor Auftraggeber, sowie Auftragnehmer gleichermaßen als Ansprechpartner zur Verfügung, ist jedoch nicht für eine softwaretechnische Umsetzung von BIM-Leistungen zuständig. Bei der Übersetzung der normativen Anforderungen zu Erfüllung von Nachhaltigkeitskriterien in Modellcontent ist der Auditor als Experte in den Digitalisierungsprozess einzubeziehen. Im Rahmen der Projektabwicklung von digitalen Nachhaltigkeitsbewertungen ist eine Personalunion von BIM-Manager und Auditor denkbar. Dies soll, basierend auf den Ergebnissen des Pilotprojektes weiterführend in Kapitel 3.6 diskutiert werden.

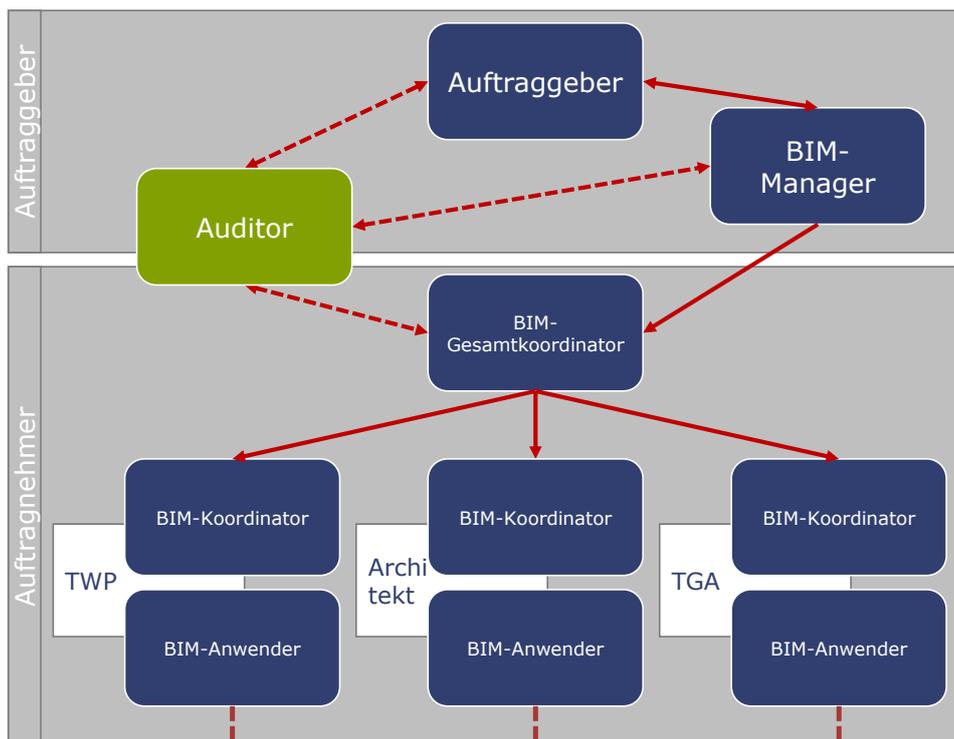


Abbildung 21: Rollendefinition gemäß BIM-Sollprozess (Eigene Darstellung)

3. Simulation und Pilotierung

Das zweite Arbeitspaket des Forschungsprojektes sieht den Aufsatz eines Pilotprojektes zur Validierung der Möglichkeiten zur Implementierung von Nachhaltigkeitsaspekten in ein digitales Bauwerksmodell vor. Dazu wurde in einem ersten Schritt ein Drehbuch für einen Simulationsworkshop mit den Projektbeteiligten erstellt, in welchem der prozessuale Ablauf einer BIM-gestützten Nachhaltigkeitsbewertung unter Betrachtung von definierten Stakeholder-Rollen simuliert und validiert wurde. Anschließend wurde aus den Erkenntnissen des Workshops Anforderungen für den Pilotbetrieb definiert, wobei sowohl die Rollen der Projektbeteiligten, als auch die praktikable Umsetzung einzelner Nachhaltigkeitskriterien im digitalen Modell untersucht wurden. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse wurden Vorgaben für den Pilotprojektaufsatz und die operative Durchführung erarbeitet. Unter Verwendung eines Common Data Environments konnten anschließend Planungsprozesse unter Einbeziehung von Nachhaltigkeitsaspekten untersucht und durch das Projektteam validiert werden. Folgend werden das Vorgehen und die Ergebnisse der Prozesssimulation, sowie des Pilotbetriebes vorgestellt.

3.1. Entwicklung eines Drehbuches

Voraussetzungen

Die erfolgreiche Anwendung der BIM-Methodik im Zuge der Planung und Realisierung setzt eine projektspezifische Implementierung eines virtuellen Projektraums voraus. Als aktuellsten Stand der Forschung und Praxis gilt dabei die Nutzung einer Common Data Environment (CDE), die sich durch die Integration des digitalen 3D-Bauwerksmodells von den einfachen virtuellen Projekträumen und Dokumentenmanagementsystemen unterscheidet. Die CDE ist die zentrale Datendrehscheibe für alle am Projekt Beteiligten und aggregiert alle Projekt-Stakeholder, Prozesse, Projektdaten und Systeme über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks. Sie sorgt dadurch für ein hohes Maß an Transparenz und Konsistenz der gesamten Projektdaten. Die CDE als serverbasierte Kollaborationsplattform agiert als gemeinsame und einzige Datenumgebung (auch Single Source of Truth) und bildet die Basis für die effiziente digitale Kollaboration aller Projektbeteiligten. Während der Projektabwicklung ermöglicht die CDE den modellbasierten Informationsaustausch und die Koordination zwischen allen Projektbeteiligten sowie eine transparente Kommunikation. Insbesondere das BCF-Aufgabenmanagement und die objektbasierte Dokumenten-Referenzierung unterstützen dabei die modellbasierte Vorzertifizierung gemäß Nachhaltigkeitskriterien. Das Teilmodell-Management mit unterschiedlichen Freigabestufen als auch individuelle Nutzer- und Berechtigungskonzepte innerhalb der CDE, die jeweils spezifisch zu Beginn des Projekts definiert werden, garantieren eindeutige Zugriffe und qualitätsgesicherte Workflows in den verschiedenen Projektphasen innerhalb der digitalen BIM-Plattform. Durch die Bündelung aller Modelldaten in der CDE sowie mit dem Modell weiter verknüpfte semantische Informationen ergibt sich für alle Projektbeteiligte eine Hol- und Bringschuld über die CDE für das jeweilige Projekt [17]. Zielstellung ist, dass alle verantwortlichen Projektbeteiligten innerhalb der Nachhaltigkeitszertifizierung alle notwendigen Informationen für eine planungsbegleitende Vorzertifizierung aus der CDE beziehen.

3.2. Durchführung des Simulationsworkshops

In einem eintägigen Workshop am Institut für Baumanagement und Digitales Bauen an der Leibniz Universität Hannover wurde die modellbasierte Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten in Zusammenhang mit der BIM-Methodik anhand eines Referenzprojektes simuliert und anschließend mit den Projektpartnern diskutiert und mit einer Live-Umfrage unterstützt und verifiziert. Im Mittelpunkt stand dabei die Umsetzung des erarbeiteten BIM-Sollprozesses durch eine durchgängige Nutzung eines Common Data Environment im Planungsprozess sowie die Verwendung eines BIM-Analysertools zur Modellprüfung. Hierbei kam die CDE „Squirrel“ eines Projektpartners zum Einsatz, die mit ihren Funktionalitäten die Kommunikations- und Kollaborationsprozesse im Sinne des openBIM- Ansatzes unterstützt.

Die gesamte Prozesssimulation wurde im sogenannten „Collaboration Lab“ (kurz: Co LAB) des Instituts für Baumanagement und Digitales Bauen durchgeführt. Hier stehen insgesamt vier vernetzte Arbeitsstationen mit jeweils vier angeordneten Arbeitsplätzen zur Simulation rollenbasierter und interdisziplinäre Kollaborationsprozesse verschiedener Projektbeteiligter zur Verfügung (vgl. Abbildung 22). An den kooperativen Workstations ist es möglich, die modellbasierte Kollaboration und Prozesse bei der Projektentwicklung über die Planung, Bauausführung, Dokumentation, den Betrieb und Rückbau sowie von Nachhaltigkeitsbewertung zu simulieren sowie ein disziplinäres und interdisziplinäres Verständnis für das Gesamtprojekt aufzubauen.



Abbildung 22: Set-Up Co LAB und beispielhafte Workshopdurchführung, (Quelle: Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie / C. Bierwagen)

Die hierbei grundlegende Basis für die erfolgreiche Umsetzung eines themenspezifischen Workshops im Co LAB bildet die Entwicklung eines anwendungsspezifischen Drehbuchs zur Validierung des zuvor vorbereiteten Prozessmodells für die Durchführung. Für diesen Workshop wurde die Methodik eines tabellarischen Drehbuch mit konsekutiven Vorgängen der Aufgaben entsprechend der BIM-Rollen oder als ausformuliertes Textdokument inkl. theoretischen Grundlagen und Übungsaufgaben für die Teilnehmer konzipiert (vgl. Abbildung 23). Aus didaktischen Gründen werden Theorieelemente und Aufgabenelemente der Vorgänge konzeptualisiert und in das „Drehbuch“ inkludiert.

Co LAB Simulation: III Meeting Projektpartner

▪ Einführungspräsentation: (CDE, Berechtigungs- und Rollenkonzept)					
Step	Monitor 1 BIM-Manager (AG)	Monitor A Planer TGA (BIM-FK)	Monitor B Architekt (BIM-GK)	Monitor C DGNB-Auditor (AG)	min
	Person 1	Person 2	Person 3	Person 4	
1	BIM-Manager richtet gemeinsame projektspezifische Kollaborationsplattform ein und legt die Teilmodelle an. <i>Erläuterung: Warum sieht BIM-Manager noch keine Teilmodelle!?</i>	Anzeige Desktophintergrund	Anzeige Desktophintergrund	Anzeige Desktophintergrund	2
2	Anzeige Desktophintergrund	Anzeige Desktophintergrund	Architekt führt seine Planung in der nativen Autorensoftware durch und lädt sein Teilmodell, das Architekturmodell, über das offene Datenaustauschformat IFC hoch in die CDE; <i>Erläuterung: planungs-grundlage Geländemodell bzw. Daten vom Landesvermessungsamt</i> Anschließend setzt er das Teilmodell in den Status GETEILT	Anzeige Desktophintergrund	3
3	Anzeige Desktophintergrund	Auf Grundlage des Architekturmodells führt der TGA-Planer seine spezifische Planung in seiner nativen TGA-Autorensoftware durch und lädt anschließend seine Teilmodelle über die IFC-Schnittstelle in die CDE hoch. Er setzt den Status GENEHMIGUNG für alle Teilmodelle.	Anzeige Desktophintergrund	Anzeige Desktophintergrund	3

Abbildung 23: Ausschnitt aus dem Drehbuch der Prozesssimulation (Eigene Darstellung)

Ausgangspunkt für die Erstellung eines Drehbuchs zur Prozesssimulation im Co LAB ist das BIM-Prozessmodell unter Anwendung eines zuvor definierten, projektspezifischen Rollen- und Berechtigungskonzept. Innerhalb eines BIM-Projektes wird dieses spezifische Rollen- und Berechtigungskonzept in der Phase des Projektstartes in den AIA definiert und BAP durch die Zuweisung von Verantwortlichkeiten konkretisiert. Die Definition der einzelnen Projektbeteiligten und BIM-Rollen sowie die damit einhergehende eindeutige Festlegung der Berechtigungen innerhalb der BIM-Anwendung spielen darüber hinaus eine entscheidende Rolle bei der Einrichtung der ausgewählten Common Data Environment. Dabei ist es die Aufgabe des BIM-Managers, das durch AIA und BAP definierte Rollenkonzept zur operativen Nutzung in der CDE eindeutig festzulegen und entsprechende Berechtigungseinstellung zu implementieren. Der Workshop wurde so konzeptioniert, dass der in Abbildung 19 dargestellte BIM-Sollprozesses an einem Beispiel operativ umgesetzt wurde. Dazu wurde durch den Architekten ein gewerkespezifisches dreidimensionales Fachmodell in einer nativen Planungssoftware erstellt, welches nach einer internen Qualitätsprüfung über das offene IFC-Datenformat in die CDE importiert wurde. Anschließend exportierte der zuständige BIM-Fachkoordinator der Fachdisziplin TGA das Architektur-Teilmodell aus der CDE über die IFC-Schnittstelle in seine native Planungssoftware. Basierend auf den im BAP definierten fachlich- technischen und modell-spezifischen Anforderungen je Gewerk erstellte die Fachdisziplin der TGA das Teilmodell für die sanitären Anlagen unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsanforderungen gemäß DGNB-Kriterien. Anschließend wurde das Teilmodell in die CDE geladen und vom BIM-Gesamtkoordinator auf Auftraggeberseite qualitätsgeprüft. Dabei kann zwischen visuellen, geometrischen und regelbasierten Modellprüfungen unterschieden werden, welche in 3.5.8 näher beschrieben werden. Identifizierte Kollisionen oder Planungsfehler wurden dabei objektbasiert über BCF-Issues (BIM Collaboration Format) dokumentiert und dem verantwortlichen Fachplaner zugewiesen. Die Anwendung des BCF-Aufgabenmanagements über das BIM-Analyse-

tool und der CDE diene in diesem Szenario der objektbasierten Kommunikation zur frühzeitigen Sicherstellung der geforderten Modellqualität und Nachhaltigkeitskriterien. Zu fest definierten Übergabezeitpunkten gemäß BAP, zum Beispiel vor einer digitalen Planungsbesprechung, erstellte der BIM-Gesamtkoordinator ein Koordinationsmodell auf Basis der aktuellen Teilmodelle zur Übergabe des Planungsstandes an den Auftraggeber. Auf Auftraggeber-Seite wurde nun ebenfalls eine Modellprüfung durchgeführt. Der aktuelle Planungsstand wurde sowohl auf fachlich-technische als auch auf Modellqualität geprüft, bevor es endgültig durch den BIM-Manager freigegeben wurde. Um innerhalb des gesamten Workflows zur modellbasierten Qualitätssicherung die Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien planungsbegleitend sicherzustellen, wurde eine fachspezifische Modellprüfung nach Übergabe des Koordinationsmodells durch den Nachhaltigkeits-Auditor auf AG-Seite und vor Freigabe durch den BIM-Manager durchgeführt. Hierbei wurde eine individuelle regelbasierte Kollisions- und Plausibilitätsprüfung in einem externen BIM-Analysetool zur Modellprüfung (Modelchecking) durchgeführt. Planungsfehler, welche in Diskrepanz zur den definierten Nachhaltigkeitszielen des Projektes standen und innerhalb der Plausibilitätsprüfung aufgedeckt wurden, konnten vom Auditor als BCF-Issue an den zuständigen Fachplaner übermittelt werden. Dieser erhielt eine Benachrichtigung per E-Mail über die CDE und konnte das objektreferenzierte BCF-Issue in der nativen Planungssoftware bearbeiten und den Fehler bis zum nächsten Datenübergabezeitpunkt beheben. Der korrigierte neue Revisionsstand der TGA-Planung durchlief abermals die Qualitätsprüfung und konnte anschließend durch das BIM-Management freigegeben werden.

3.3. Ergebniszusammenführung und -betrachtung

Die Durchführung des Workshops mit verschiedenen Projektpartnern hatte das Ziel Informationsanforderungen für die prozessualen Abläufe, die Zusammenarbeit und die Sicherung der Modellqualität während der Zertifizierungsmaßnahme und somit für den folgenden Pilotbetrieb zu definieren. Die Kollaboration aller Planungs- und Baubeteiligten im Zertifizierungsprozess sowie die prozessualen Abläufe innerhalb einer CDE standen dabei im Mittelpunkt des Workshops.

Die Definition der projektspezifischen Aufgaben der BIM-Rollen außer- und innerhalb der CDE, das Zuständigkeits- und Berechtigungskonzept in der CDE, die notwendigen Informationsanforderungen und Modellstrukturen für die Qualitätssicherung des Zertifizierungsprozesses sowie Datenaustauschkonventionen sind u. a. in den AIA zu definieren und im BAP zu konkretisieren.

Die zentralen BIM-Rollen für die Durchführung eines Zertifizierungsprozesses unter Berücksichtigung der Methode BIM sind der BIM-Manager auf Auftraggeber-Seite, der BIM-Gesamtkoordinator und der BIM-Fachkoordinator auf Auftragnehmer-Seite. Die Integration der Projektrolle des DGNB-Auditors, der durch den Auftraggeber beauftragt wird, stellt im Berechtigungs- und Rollenkonzept einer CDE eine Besonderheit dar und ist im Beispielprojekt zu pilotieren. Die Festlegung von konkreten Verantwortlichkeiten für spezifische Prozesse wurde im Rahmen des Workshops als eines der Hauptkriterien für eine Effizienzsteigerung des Zertifizierungsprozesses herausgestellt.

Die Wahl einer geeigneten CDE mit geeignetem Rollen- und Verantwortlichkeitskonzept ist für die konsistente Durchführung des Zertifizierungsprozesses entscheidend. Die Darstellung eines Workflows im BIM-Ablaufplan sorgt für eine gesteigerte Prozesseffizienz und klar definierte Prozessabläufe vor Beginn der angestrebten Zertifizierung. Die Festlegung von Modellübergabezeitpunkten, die an die Meilensteine der DGNB Zertifizierung gegliedert sind, sind zeitlich zweckmäßig zu wählen. Die Zusammenführung der Teilmodelle, somit aller geometrischen und semantischen Informationen, zu einem Koordinations- bzw. Gesamtmodell auf einer so genannten zentralen Datendrehscheibe (CDE) hilft bei dem Verständnis der notwendigen Zertifizierungsanforderungen und verschlankt den Prozess der Datenanreicherung und -zusammenstellung für den DGNB-Auditor.

Für die Zusammenführung der einzelnen Teilmodelle und das Aufgabenmanagement über die CDE sind in den AIA und im BAP Datenaustauschformate für einen offenen Datenaustausch von Modelldaten (IFC) und der Aufgaben (BCF) zu definieren. Die offenen BIM-Datenaustauschformate stellen den aktuellen Standard des BIM-Datenaustausches im Bauwesen dar und sind zum einen normativ festgelegt (IFC) [15] bzw. stellen einen durch die buildingSMART e. V. entwickelten Standard dar (BCF) [18]. Die Benutzung von offenen Datenaustauschformaten ist u. a. Ergebnis des durchgeführten Workshops.

Das Teilmodell der Architektur unter Berücksichtigung der entsprechenden Anforderungen für die DGNB-Zertifizierung wird durch den Objektplaner, der i. d. R. durch den BIM-Gesamtkoordinator vertreten wird, erstellt und als ifc-Datei in der CDE zur Verfügung gestellt. Das Architekturmodell stellt die Basis für die Fachmodelle der einzelnen Gewerke. Die Berücksichtigung von erforderlichen Attributen, Informationen und Granularitäten für die Abbildung der Kriterien (hier: Barrierefreiheit) gemäß der DGNB-Zertifizierung ist vor Modellierung und Freigabe des Koordinationsmodells in den AIA und im BAP zu definieren.

Für eine effiziente Auswertung der Nachhaltigkeitskriterien ist die Form der Prüfung, die Namenskonvention der dafür erforderlichen Attribute und der entsprechende Datentyp festzulegen. Ebenfalls ist die Informationsdichte der einzelnen Teilmodelle der Objekt- und Fachplaner vorab festzusetzen, um die Qualität standardisiert durch BIM-Gesamtkoordinator bzw. DGNB-Auditor zu prüfen. Die Informationsanforderungen für die einzelnen Objekt- und Fachplanungsteilmodelle sind in einer Attribuierungsmatrix bzw. Modellelementmatrix festzulegen. Die Attribuierungsmatrix definiert alle zu modellierenden Objekte, enthält Informationen zu Namenskonventionen, Datentypen und Attributinhalt aller zu berücksichtigenden Objekte. Eine Aufteilung der Attribuierungsmatrix nach Teil-/Fachmodell ist anzustreben.

Die Informationsanforderungen und die Darstellung der Informationen stellt die Basis für die Kriterienüberprüfung dar. Für eine Standardisierung von Informationsanforderungen sind im Pilotbetrieb Standards für geometrische und semantische Modellprüfungen zu entwickeln, die die verschiedenen Anforderungen der Kriterien über Logikabfragen, Kollisionsprüfungen und Attributauswertungen abfragen.

Die Anforderungen für die Erstellung von GreenBIM-Templates für die effiziente Durchführung des Zertifizierungsprozesses sind für die richtige Wahl von zu ergreifenden Maßnahmen wie folgt zusammenzufassen:

- Datenabbildung der Nachhaltigkeitskriterien und deren Integration zur (automatisierten) Bewertung
- Granularität der zu zertifizierenden Modelle
- Rollenverteilung und -definition mit Bezug auf Arbeitsschritte
- Beschreibung der Softwareumgebung zur Integration und Nachweisführung
- Art und Nutzung von Datenaustauschformate
- Beschreibungen und Hinweise zur Sicherung der Datenqualität.

Die Erarbeitung von Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) durch den Auftraggeber und die Erstellung des BIM-Abwicklungsplan durch den Auftragnehmer für die Rahmenumgebung des Zertifizierungsprojektes, die Definition von Modellanforderungen mittels Attribuierungsmatrix bzw. Modellelementmatrix und die Erarbeitung von konzeptionellen Ansätzen der Modellprüfung sind entscheidende Maßnahmen zur Umsetzung eines erfolgreichen Pilotprojektes und einer praktikablen Anwendung in der Baupraxis

3.4. Konzeptentwicklung Pilotprojekt

3.4.1. Inhalte und Vorgehensweise

Innerhalb des Pilotbetriebs kommt es zur Anwendung der Arbeitsergebnisse aus der Prozesssimulation und dessen Validierung sowie zur Entwicklung weiterer Ansätze zur Integrationsmethodik von Nachhaltigkeitsaspekten in der Methode Building Information Modeling.

Hierfür war die Bereitstellung von zwei aktuellen Planungsprojekten durch die Projektpartner htm.a Hartmann Architektur GmbH und ft+ architekten unter Integration von Informationsanforderungen beispielhafter Nachhaltigkeitskriterien geplant. Leider war es dem Architekturbüro ft+ architekten nicht möglich aktiv am Pilotbetrieb teilzunehmen, sodass für den Pilotbetrieb das Beispielprojekt des Architekturbüros htm.a Hartmann Architektur GmbH verwendet wurde. Inhaltlich sollte der Pilotbetrieb Planungsbelange und Nachhaltigkeitsaspekte unter der Verwendung der BIM-Methodik untersuchen. Die Ergebnisse der Pilotierung fließen dabei unmittelbar in die Empfehlungen zur Erstellung der GreenBIM-Templates ein. Dazu wurde in einem ersten Schritt ein schriftlicher Projektaufsatz in Form von AIA und BAP erarbeitet und durch die Fachexperten des Projektteams validiert. Diese Dokumente bilden den Ausgangspunkt für die kollaborative Zusammenarbeit auf Basis eines CDE-Konzepts und enthalten alle für die Implementierung von Nachhaltigkeitsaspekten notwendigen Informationsanforderungen zur Umsetzung des BIM-Sollprozesses in einem realen Projekt. Durch diesen Aufsatz sind die Akteure in der Lage plattform- und teilmodellbasiert zu arbeiten. Weiterhin wurden beispielhaft geometrische und nichtgeometrische Kriterienaspekte als auch grundlegende Mindestanforderungen untersucht. Für die beispielhafte Abbildung von Nachhaltigkeitsparametern im digitalen Modell wurden dazu die DGNB-Kriterien „Barrierefreiheit“ (SOC 2.1) und „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ (ECO 2.1) gewählt. Die Anforderungen an den Modellcontent, welche sich aus den beiden betrachteten Kriterien ergeben, wurden zu Projektstart in Attribuierungsmatrizen erarbeitet und festgehalten. Diese bilden die Grundlage für die Modellattribuierung und Nachweisanforderungen, welche sich aus den normativen Vorgaben der betrachteten Nachhaltigkeitskriterien ergeben.

Um die gewählten Nachhaltigkeitsaspekte abbilden zu können, wurden die erarbeiteten Templates als Vorlage genutzt, damit planerseitig die entsprechenden Nachhaltigkeitsaspekte kriterienbezogen attribuiert werden konnten. Entsprechend des Planungsverlaufs wurden mit den Projektpartnern Review- und Evaluierungsprozesse zur Datensicherung und -qualität durchgeführt. Die Datensicherung und -qualität wird dabei durch verschiedene Konzepte des Modelchecking gewährleistet und der Review- und Iterationsprozess durch die BCF-basierte Arbeitsweise über die CDE abgewickelt.

Durch die so vollständige datenbezogene Integration der kriterienbezogenen Nachhaltigkeitsaspekte, besteht die Möglichkeit einer Nachhaltigkeitsbewertung und -zertifizierung anhand des Modells. Begleitend zur beschriebenen Vorgehensweise werden verschiedene Evaluierungen durchgeführt, um die Erfahrungen des Pilotbetriebs zu dokumentieren und validieren.

3.4.2. Ableitung der Templates für das Pilotprojekt

Ein Ziel des Forschungsprojektes ist es, Templates bzw. Blaupausen von Nachhaltigkeitsbewertungs- und Zertifizierungsprozessen anhand der BIM-Methodik zur Verfügung zu stellen.

Dadurch sollen Planungs- und Bewertungsbeteiligte befähigt werden, Nachhaltigkeitsaspekte bereits in frühen Planungsphasen zu integrieren und ein gemeinsames Nachhaltigkeitsverständnis aufzubauen. Damit wird eine Basis für detaillierte Aussagen und Entscheidungsprozesse über die Nachhaltigkeit eines Gebäudes geschaffen.

Diese Templates sollen ebenfalls einen Beitrag zu mehr Transparenz in Planungs- und Zertifizierungsprozessen leisten, den gewerkübergreifenden Koordinations- und Kommunikationsaufwand durch modellbasiertes und rollenspezifisiertes Aufgabenmanagement verringern und zu einer integralen Planung befähigen.

Die GreenBIM-Templates umfassen folgende Dokumente:

- Empfehlungen für die Strukturierung des BIM-Sollprozesses unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsanforderungen in digitalen Bauwerksmodellen
- Strukturempfehlungen und Inhaltsvorgaben für die Dokumente des Projektaufsatzes im Sinne eines BIM-Sollprozesses: AIA und BAP
- Vorgaben und Struktur der Attribuierungsmatrizen zum Data Enrichment des Betrachteten Bauwerksmodells unter Einbeziehung von Informationsanforderungen an das Modell, sowie deren Struktur.
- Konzeptionelle Ansätze zum methodischen Vorgehen der modellgestützten Nachweisführung mit Praxisbeispielen

Alle GreenBIM-Templates leiten sich direkt aus den Ergebnissen des Pilotbetriebes ab und können daher als erprobt und validiert angesehen werden.

3.4.3. Rollendefinition im Pilotprojekt

Ausgehend von dem in Kapitel 2.4 beschriebenen Rollenkonzept in BIM-Projekten unter Berücksichtigung des Nachhaltigkeitsauditor, wurde basierend auf dem BIM-Sollprozess eine Rollendefinition für das Pilotprojekt erstellt. Diese wurde in den AIA- und BAP-Dokumenten zu Projektstart festgehalten. Die Rollenzuweisung im Pilotprojekt orientiert sich dabei an der fachspezifischen Ausrichtung des Kerngeschäftes der Projektpartner.

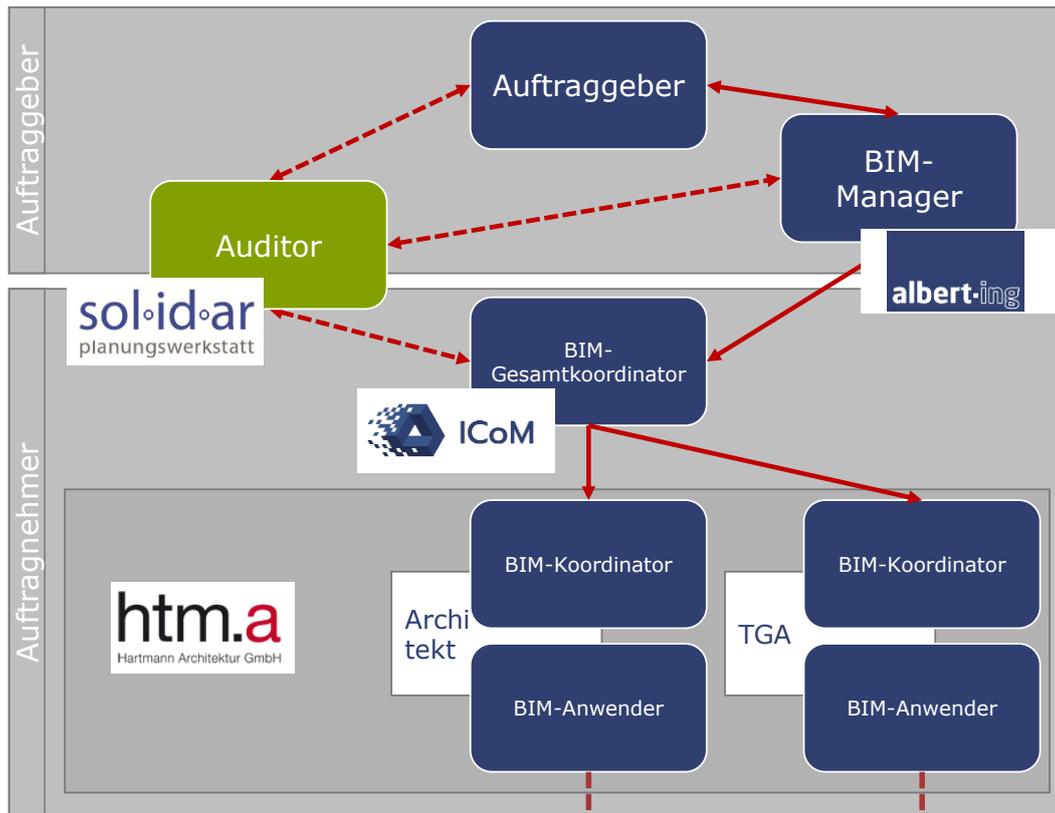


Abbildung 24: Zuständigkeiten der Projektpartner gemäß Rollendefinition (Eigene Darstellung)

Die albert.ing GmbH übernahm die Rolle des BIM-Managers auf Seiten des Auftraggebers. Die solidar planungswerkstatt stand durch seine Kompetenz als Nachhaltigkeitsauditor gleichermaßen Auftraggeber sowie Auftragnehmer als Ansprechpartner zur Verfügung. Das Institut für Baumanagement und Digitales Bauen hat neben der Gesamtkoordination des Pilotprojektes die Rolle des BIM-Gesamtkoordinator eingenommen. Die htm.a Architektur GmbH fungierte im Rahmen des Pilotprojektes gleichermaßen als BIM-Koordinator und BIM-Anwender der Fachdisziplin Architektur und Technische Gebäudeausrüstung. Das Fachgebiet der Tragwerksplanung war im Forschungsprojekt nicht vertreten.

Eine genaue Beschreibung der zusätzlichen Aufgabenbereiche, welche sich durch die Abbildung von Nachhaltigkeitskriterien in digitalen Bauwerksmodellen für die einzelnen Projektrollen ergeben, wird in Kapitel 3.4.5 und 3.4.6 im Rahmen der Inhalte von AIA und BAP erläutert.

3.4.4. Aufsatz AIA und BAP

Basierend auf dem in Kapitel 2.3.3 erarbeiteten BIM-Sollprozess und dem daraus resultierenden Rollenkonzept und den Ergebnissen des Simulationsworkshops, wurden in einem ersten Schritt des Pilotbetriebes die Dokumente der AIA und ein BAP für das Pilotprojekt erstellt, welche für die Implementierung von Nachhaltigkeitsanforderungen allgemeingültig strukturiert aufgebaut wurden. Dazu werden folgend die grundlegende Struktur und die wesentlichen Inhalte der AIA beschrieben und das Projektvorgehen zur Erweiterung der Anforderungen um die modelltechnische Abbildung von Nachhaltigkeitsanforderungen dargestellt. Durch die Ana-

lyse mit unterschiedlichen Fachexperten aus den Bereichen Prozessmanagement, Green Building Zertifizierung, BIM-Management sowie nachhaltiges Planen und Bauen konnte festgehalten werden, dass die Verankerung von Nachhaltigkeitszielen bereits in den AIA erfolgen und diese im BAP konkretisiert werden sollten. Somit können Nachhaltigkeitsaspekte in die BIM-Ziele integriert werden, wodurch Vertragsmodelle & -konstellationen dahingehend angepasst werden können.

Die AIA definieren dabei projektspezifischen BIM-Ziele und Anforderungen des Auftraggebers, welche vor Auftragsvergabe durch den BIM-Manager der Auftraggeberseite erstellt werden. Die AIA schildern die Notwendigkeit unterschiedlicher Projektrollen, Anwendungsfelder und Lieferpunkte von BIM-Leistungen und schreiben die Anforderungen in Bezug auf Zusammenarbeit, Qualität und informationstechnischer Kompatibilität innerhalb des BIM-Projektes fest [19].

Diese Angaben sind in schriftlicher Form festzuhalten und der Ausschreibung bzw. dem Planungsvertrag anzuhängen. Der Auftragnehmer hält die projektspezifische Umsetzung der AIA in einem BAP fest, welcher durch den zuständigen BIM-Gesamtkoordinator des Auftragnehmers erstellt und ebenfalls schriftliche festgehalten wird.



Abbildung 25 : Definition von Anforderungen und Umsetzung für das digitale Bauen mit BIM [19]

Die AIA enthalten dabei unabhängig der Abbildung von Nachhaltigkeitskriterien Angaben, welche die Informationsanforderungen des Projektes darstellen. Diese sind als Grundlage für den allgemeinen Aufsatz von BIM-Projektes folgend stichwortartig dargestellt [19].

BIM-Informationen

- Allgemeine Angaben zur BIM-Methode
- BIM-Definitionen und Abkürzungen
- Übergeordnete Projektrollen
- Anwendung nationaler und internationaler Standards

BIM-Ziele

- Eindeutige Zieldefinition der Anwendung von BIM im Projekt
- Untergliederung der Ziele in Projektphasen

BIM-Anwendungsfälle

- Ableitung der Anwendungsfälle aus den BIM-Zielen zur Kennzeichnung des BIM-Leistungsprogramms
- Definition der Aufgaben für welche BIM-Prozesse und BIM-Technologien im Projekt eingesetzt werden.
- Vorgabe der Dimension des Informationsmodells zur Umsetzung der BIM-Anwendungsfälle

Projektrollen und Verantwortlichkeiten

- Festlegung von Verantwortlichkeiten und Befugnissen der Projektbeteiligten
- Festschreibung der Zusammenarbeit unter Einbezug von Qualitätssicherungsmaßnahmen und Freigaben

Zentrales Informationsmodell

- Definition der Modell-Detaillierungsgrade
- Angaben zur Nutzung von Koordinatensystemen
- Definition von Modellstrukturen
- Anforderungen aus der Nutzung des Modells in unterschiedlichen Projektphasen oder auftraggeberseitigen Softwaresystemen

Technologie

- Anforderungen an zu verwendende Soft- und Hardware
- Technologieanforderungen für Koordinations- und Planungsbesprechungen
- Zeitpunkte der Datenübergaben
- Datenaustauschformate

Im Zuge des Forschungsprojektes sollten diese Anforderungen der AIA durch Informationsanforderungen zur modellbasierten Abbildung von Nachhaltigkeitskriterien erweitern werden. Um die Informationsanforderungen der AIA und BAP Dokumente gemeinsam im Projektteam zu erarbeiten, wurde ein Workshop unter Anwendung einer geführten Sammlung des Expertenwissens am Institut für Baumanagement und Digitales Bauen durchgeführt. Dazu wurden nach Präsentation der allgemeinen Informationsanforderungen gemeinsam Inhalte zur Adressierung von modellgestützten Nachhaltigkeitsbewertungen in Kleingruppen erarbeitet. Die durch das Projektteam erarbeiteten Anforderungen wurden anschließend strukturiert. In Abbildung 26 sind die Ergebnisse des Brainstorming zu den AIA-Inhalten dargestellt.

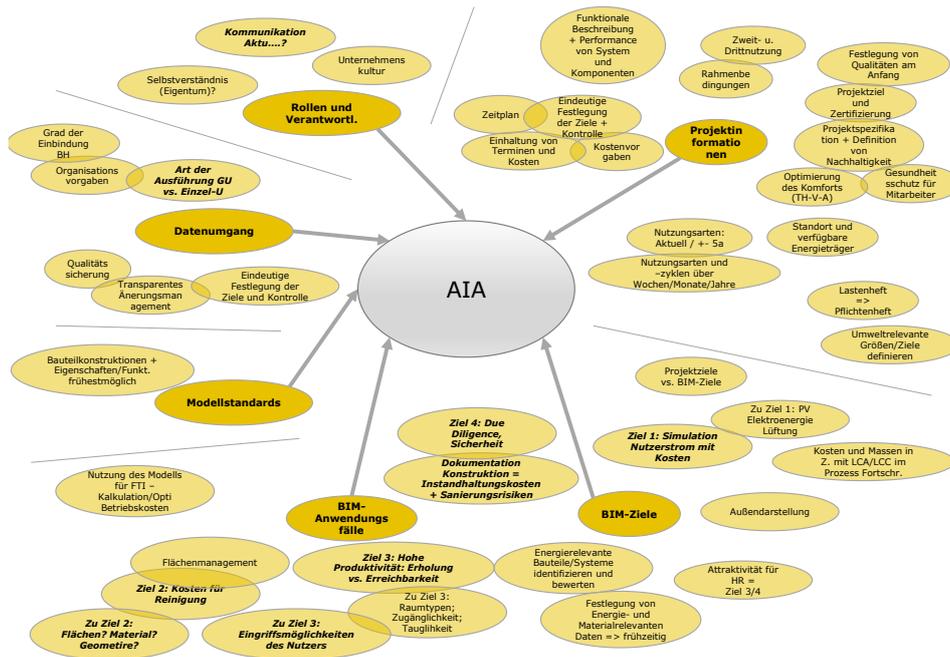


Abbildung 26: Strukturiertes Workshop-Brainstorming zu den AIA-Inhalten (Eigene Darstellung)

Insgesamt konnten 27 Anforderungsbereiche für die AIA ermittelt werden, welche sich in die 7 Betrachtungsebenen: Unternehmen, Projekt, BIM-Methodik & Rahmenbedingungen, BIM-Technologien, BIM-Prozesse, BIM-Menschen und BIM-Daten unterteilen. Für die Anforderungen an den BAP konnten 25 Anforderungsbereiche identifiziert werden. Auf Grundlage der erarbeiteten Workshop-Ergebnisse wurde anschließend ein erster Entwurf der AIA und BAP Dokumente für das Pilotprojekt durch das Architekturbüro htm.a erstellt, welche die vorher definierten Anforderungsbereiche abdecken sollten. Diese wurden an die Fachexperten des Projektteams verteilt und mit den erarbeiteten Informationsanforderungen abgeglichen. Nach Rücklauf aller Anmerkungen der Projektbeteiligten konnten nach Auswertung der fehlenden Inhalte gesamthafte AIA- und BAP-Dokumente für den anschließenden Pilotbetrieb erstellt werden. Folgend sind die Inhalte der AIA- und BAP-Erweiterung durch die Integration von Nachhaltigkeitsaspekten dargestellt.

3.4.5. Inhalte der AIA unter Betrachtung von Nachhaltigkeitskriterien

Die Inhalte der AIA legen zu Projektstart die Grundstruktur des Projektaufsatzes fest. Für die Betrachtung von Nachhaltigkeitskriterien sind die Informationsanforderungen von elementarer Wichtigkeit, da bei der Betrachtung von Modellanforderungen für (teil-)automatisierte Zertifizierungsprozesse ein hoher Standardisierungsgrad des Modellcontents zur digitalen Überprüfung der Nachhaltigkeitsinformationen notwendig ist. Folgend sind die notwendigen Informationen zur Beschreibung von Nachhaltigkeitsanforderungen in den AIA aufgeführt. Die einzelnen Anforderungen werden dabei im weiteren Verlauf dieses Berichtes detailliert betrachtet und erläutert.

Tabelle 1: Inhalte der AIA unter Betrachtung von Nachhaltigkeitskriterien

1. Projektinformationen	
Inhalt	Beschreibung
Nachhaltigkeitsverständnis und anzuwendendes Zertifizierungsprogramm	Die Verwendung eines Zertifizierungsprogramms (z.B. BNB, DGNB) ist inkl. der Einordnung in eine Nutzungskategorie innerhalb des Projektaufsatzes festzulegen.
Termine	Zertifizierungstermine (Vor- und Endzertifizierung) und die zugehörigen Leistungsphasen sind festzuhalten.
Projekt- und Nachhaltigkeitsziele	Das Zertifizierungsziel, bzw. der gewünschte Zertifizierungsgrad sollte innerhalb der AIA festgeschrieben werden, um das Nachhaltigkeitsverständnis bei allen Projektbeteiligten zu vereinen.
Standardisierter Modellcontent	Innerhalb der Projektinformationen sind anzuwendende Standardisierungen in Bezug auf den Modellcontent der jeweiligen Zertifizierungssysteme festzuhalten. Dies können beispielsweise Zertifizierungsplattformen der jeweiligen Nachhaltigkeitszertifizierer, standardisierte Attribuierungsmatrizen o.Ä. sein.
2. BIM-Ziele	
Inhalt	Beschreibung
Modellgestützte Nachhaltigkeitsinformationen	Innerhalb der BIM-Ziele ist festzulegen, welche Kriterien des Zertifizierungsprogramms modellgestützt abgebildet werden
Modellgestützte Nachhaltigkeitszertifizierung	Innerhalb der BIM-Ziele ist festzulegen, welche Kriterien des Zertifizierungsprogramms modellgestützt nachgewiesen werden soll.
3. BIM-Anwendungsfälle	
Inhalt	Beschreibung
Nachhaltigkeitsspezifische BIM-Anwendungsfälle abgeleitet aus den BIM-Zielen	Die BIM-Anwendungsfälle, welche durch die nachhaltigkeitspezifischen BIM-Ziele sind festzuhalten. Wie beispielsweise: <ul style="list-style-type: none"> • Nutzung eines gemeinsamen Common Data Environment (CDE) • Modellchecks zur Sicherstellung der Attribuierungsqualität • Modellchecks zur Abprüfung des GreenBIM-Modelcontents • Anlegen und Pflege der Attribute gemäß Attribuierungsmatrix • Auswahl der DGNB-Nachhaltigkeitskriterien

4. Rollen und Verantwortlichkeiten	
Inhalt	Beschreibung
Beschreibung des Rollenkonzeptes	Das in Kapitel 2.4 beschriebene Rollenkonzept ist in den AIA festzuhalten und projektspezifisch anzupassen.
BIM-Manager	Die durch die Nachhaltigkeitsabbildung hinzukommenden Aufgaben des BIM-Managers sind festzuhalten. Dazu zählen: <ul style="list-style-type: none"> • Überprüfung der Modellqualität hinsichtlich der Einhaltung von Attribuierungsanforderungen • Abprüfen der Zertifizierungsvorgaben, welche in den AIA festgeschrieben sind (Nachhaltigkeitsspezifische Modellchecks).
BIM-(Gesamt-)Koordinator	Die durch die Nachhaltigkeitsabbildung hinzukommenden Aufgaben des BIM-Gesamtkoordinator sind festzuhalten. Dazu zählen: <ul style="list-style-type: none"> • Sicherstellung der Umsetzung von Attribuierungsvorhaben • Qualitätssicherung der zu übergebenden Teilmodelle
BIM-Autor/in	Die durch die Nachhaltigkeitsabbildung hinzukommenden Aufgaben der BIM-Autoren sind festzuhalten. Dazu zählen: <ul style="list-style-type: none"> • Attribuierung des BIM-Modells gemäß Anforderungen der Attribuierungsmatrizen • Softwaretechnische Umsetzung des Modellcontents
Zertifizierungsauditor/ Ansprechpartner Nachhaltigkeit	Im Rahmen von Nachhaltigkeitszertifizierungen ist der Zertifizierungsauditor als Teil des Projektteams in den BIM-Sollprozess zu integrieren. Die Aufgaben sind zu definieren. Diese können beispielsweise sein: <ul style="list-style-type: none"> • Abstimmung von Nachhaltigkeitsaspekten in der Planung (LPH2/3) mit den BIM-Autoren • Unterstützung der BIM-Autoren bei der nachhaltigen Gebäudeplanung, bei der Auswahl nachhaltiger Bauprodukte und der Erstellung von Vorzertifizierungen • Durchführung des DGNB-Zertifizierungsprozesses für ausgewählte Kriterien anhand der Modelldaten in Abstimmung und Zusammenarbeit mit dem BIM-Manager bzw. dem BIM-Gesamtkoordinator

5. Kollaboration	
Inhalt	Beschreibung
Plattform und Modell-Upload	Die Anforderungen an das Common Data Environment sind festzulegen. Zusätzlich ist das BCF-Issuemanagement zu beschreiben und die Ordnerstruktur für die referenzierten Dokumenten-Uploads festzulegen.
Datenaustauschformate	Die Datenformate für die zu übergebenden Modelldaten und Nachweisdokumente sind festzulegen. Im Sinne des open-BIM-Ansatzes sollte hier das IFC-Format für den Modelldatenaustausch verwendet werden. Nachweisdokumente können beispielsweise als PDF-Dokument im DMS der CDE abgelegt werden.
BIM-Planungsbesprechungen und Modellkoordinationsbesprechungen	Sind für die Abbildung der Nachhaltigkeitsanforderungen gesonderte Planungsbesprechungen geplant, sind diese hier festzulegen.
Modelchecking	Der Prozess des Modelcheckings ist darzustellen. Neben den Modellanforderungen die sich aus dem konventionellen Planungsprozess ergeben, sind die Nachhaltigkeitsanforderungen und deren Abprüfung im Modell gesondert darzustellen. Es kann an dieser Stelle auf notwendige und/oder bevorzugte Modellprüfungssoftware hingewiesen werden. Stehen vom AG entwickelte Regelsätze zu Modellprüfung zu Verfügung, ist die Anwendung und das Vorgehen zur Verwendung dieser Regelsätze zu beschreiben.
Virtuelle Planungsbesprechungen (VDR)	Sind virtuelle Planungsbesprechungen geplant, sind diese unter Angabe der Technologie festzuhalten. Der Bezug auf die Nachhaltigkeitsbewertung innerhalb der VDR ist anzugeben.
6. Modellierungsrichtlinien & Datenanforderungen	
Inhalt	Beschreibung
BIM-Übergaben	Die Informationstiefe der einzelnen Koordinationsmodelle hinsichtlich der Nachhaltigkeitsanforderungen unter Angabe der Übergabezeitpunkte ist hier zu definieren. Eine Orientierung an den Leistungsphasen der HOAI ist an dieser Stelle empfehlenswert. Die frühestmöglichen Implementierungszeitpunkte sind entsprechend in den Attribuierungsmatrizen der jeweiligen Nachhaltigkeitskriterien anzugeben.

Level of Development (LOD)	Die Planabgabe und Übergabe von Modellen sollte bezüglich der Informationstiefe in Einklang zur beauftragten Leistungsphase stehen. Der Informationsgehalt des Modells hinsichtlich Nachhaltigkeitsanforderungen in den Leistungsphasen ist den Attribuierungsmatrizen festgeschrieben. Die Anforderungen sind je Fachmodell zu differenzieren.
Modellierungsanforderung	Die über das Modell abzubildenden Nachhaltigkeitskriterien sind hier aufzulisten. Zusätzlich sind die Attribuierungsmatrizen zu beschreiben und entweder Anforderungen an den Informationsgehalt zu definieren, oder vorhandenen Attribuierungsmatrizen für die operative Anwendung zur Verfügung zu stellen. Die Platzierung der Nachhaltigkeitsattribute in der Datenstruktur des IFC-Baums ist zu spezifizieren. Der Informationsgehalt der Matrizen wird in Kapitel 3.5.6 beschreiben. Des Weiteren ist der Kommunikationsweg zwischen BIM-Autor und Zertifizierungsauditor bzw. BIM-Manager und BIM-Gesamtkoordinator bei Problemstellungen hinsichtlich der Umsetzung der Attribuierungsmatrizen zu beschreiben und die Entscheidungshoheit zu definieren.
Namenskonvention	Neben der Vorgabe von Namenskonventionen für die Benennung von Daten, Dokumenten und Objekten, sind vor allem die in der Attribuierungsmatrix festgehaltenen Vorgaben zur Benennung zu definieren. In Kapitel 3.5.6 sind die Möglichkeiten für eine konsistente Namenskonvention der Nachhaltigkeitsparameter dargestellt.
7. Software, Hardware und IT-Vorgaben	
Inhalt	Beschreibung
Software	Die Anforderungen an die zu verwendenden Softwareumgebungen sind zu stellen. Im Rahmen von Nachhaltigkeitsprojekten ist die Verwendung eines CDE und eines Modelcheckers vorzusehen. Nach dem Grundsatz des openBIM-Ansatzes sollten dabei die zu erfüllenden Spezifikationen der Softwareumgebungen definiert werden. Stellt das Zertifizierungssystem haus eigene Software, insbesondere für die Prüfung von Nachhaltigkeitsanforderungen, zur Verfügung, ist die Verwendung solcher Plattformen festzuschreiben.

8. Übergabe der Modelldaten an den Auftraggeber	
Inhalt	Beschreibung
Modelldaten	Datenformat und Umfang der zu übergebenden Modelldaten zum Projektabschluss ist zu beschreiben. Die Leistungserbringung der einzelnen Fachplaner ist dem Gewerk entsprechend zu beschreiben. Die Nachhaltigkeitsparameter des Modells je Fachdisziplin sind zu nennen. Modellgestützt erstellte Zertifizierungsdokumente (Vorzertifizierung und Endzertifizierung) sind zu nennen.

3.4.6. Inhalte der BAP unter Betrachtung von Nachhaltigkeitskriterien

Der BAP wird im Rahmen der Angebotsabgabe durch den potentiellen Auftragnehmer als Konzept entwickelt, wie die in den AIA festgeschriebenen Anforderungen zur Nutzung und Umsetzung der BIM-Methodik konkret projektspezifisch umgesetzt werden sollen. Dieses Konzept ist zu verschriftlichen und wird als Vertragsbestandteil aufgenommen.

Die inhaltlichen Schwerpunkte des BAP decken sich dabei im Wesentlichen mit den in den AIA definierten Vorgaben. Auch in diesem Dokument sind die Oberthemen: BIM-Informationen, BIM-Ziele, BIM-Anwendungsfälle, Projektrollen und Verantwortlichkeiten, Zentrales Informationsmanagement und Technologie abzudecken.

Folgend sind die notwendigen Informationen zur Beschreibung von Nachhaltigkeitsanforderungen im BAP aufgeführt. Die einzelnen Anforderungen werden dabei im weiteren Verlauf dieses Berichtes detailliert betrachtet und erläutert.

Tabelle 2: Inhalte des BAP unter Betrachtung von Nachhaltigkeitskriterien

1. Projektinformationen	
Inhalt	Beschreibung
Nachhaltigkeitsverständnis und anzuwendendes Zertifizierungsprogramm	Die Verwendung des in den AIA vorgegebenen Zertifizierungssystems (z.B. BNB, DGNB) ist inkl. der Einordnung in eine Nutzungskategorie zu beschreiben.
Termine	Zertifizierungstermine (Vor- und Endzertifizierung) und die zugehörigen Leistungsphasen sind festzuhalten. Die Bestimmung der Data Drops erfolgt in Abschnitt 9.
Projekt- und Nachhaltigkeitsziele	Der Zertifizierungsgrad wird im BAP festgeschrieben und wird somit Vertragsbestandteil. Der Umfang des digitalen Modells als Datengrundlage für die Nachweisführung ist zu beschreiben. Dabei sind vor allem je nach Projektleistungsphase die modellbasierten Nachhaltigkeitskriterien festzulegen.
Standardisierter Modellcontent	Innerhalb der Projektinformationen sind anzuwendende Standardisierungen in Bezug auf den Modellcontent der jeweiligen Zertifizierungssystems festzuhalten, falls diese vorhanden sind. Dies können beispielsweise Zertifizierungsplattformen der jeweiligen Nachhaltigkeitszertifizierer, standardisierte Attribuierungsmatrizen o.Ä. sein.
2. BIM-Ziele	
Inhalt	Beschreibung
Modellgestützte Nachhaltigkeitsinformationen & Modellgestützte Nachhaltigkeitszertifizierung	Die BIM-Ziele der Nachhaltigkeitsbetrachtungen sind zusammen mit den weiteren Projektspezifischen BIM-Zielen aus dem AIA zu priorisieren.
3. BIM-Anwendungsfälle	
Inhalt	Beschreibung
Nachhaltigkeitsspezifische BIM-Anwendungsfälle abgeleitet aus den BIM-Zielen	Die in den AIA definierten BIM-Anwendungsfälle, welche sich aus der Betrachtung von Nachhaltigkeitskriterien im Modell ableiten, sind mit Verantwortlichkeiten gemäß dem Rollenkonzept und konkreten To-Dos zu versehen. Beispielsweise setzt die „Automatische Überprüfung des Modelles auf Vollständigkeit der Nachhaltigkeitsparameter“ eine Überprüfung des Modellinformationsgehaltes gemäß den Attribuierungsmatrizen durch den BIM-(Gesamt-)Kordinator voraus.

4. Rollen und Verantwortlichkeiten	
Inhalt	Beschreibung
Beschreibung des Rollenkonzeptes	Das Rollenkonzept mit den in den AIA beschriebenen Aufgabenbereichen ist durch die Zuweisung von Verantwortlichkeiten an konkrete Personen zu bestätigen. Das BIM-Rollenkonzept für Nachhaltigkeitsprojekte ist in Kapitel 2.4 beschrieben.
5. Kollaboration	
Inhalt	Beschreibung
Kollaborationsplattform	Eine den Anforderungen aus den AIA gerecht werdende Softwarelösung ist als CDE-Plattform festzulegen. Diese muss den Ansprüchen in Bezug auf das BCF-Issuemanagement und der modellreferenzierten Dokumentenablage gerecht werden. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde die web-basierte System as a Service Lösung „Squirrel“ der Firma albert.ing GmbH verwendet. Eine Vorstellung der Plattform erfolgt in Kapitel 3.5.2.
Modelchecking	Die für die Modelchecks verwendeten Softwaretools sind zu beschreiben und zu klassifizieren. Dies gilt sowohl für die Überprüfung der Modellqualität, als auch für die modellgestützte Abprüfung von Nachhaltigkeitsanforderungen. Softwareprodukte des Zertifizierers sind zu benennen.
6. Modellierungsrichtlinien & Datenanforderungen	
Inhalt	Beschreibung
Modellierungssoftware	Die Anforderungen der AIA an die übergebenen Modelldaten setzt die Übergabe von IFC-Datenformaten in einer vordefinierten Version voraus. Die Objektattribuierung gemäß den in den Attribuierungsmatrizen definierten Informationsanforderungen muss durch die Modellierungssoftware ermöglicht werden. Dazu muss das Anlegen und Exportieren von benutzerdefinierten Parametern in der IFC-Datenstruktur durch die Software gewährleistet werden.
Modellierungsanforderungen	Die in den AIA festgeschriebenen Attribuierungsmatrizen sind durch die Informationsanreicherung des Modells umzusetzen. Sind keine Attribuierungsmatrizen durch den Auftraggeber vorgegeben ein Konzept zur Erstellung der Matrizen für die abzubildenden Kriterien vorzulegen, welches sich am Vorgehen innerhalb dieses Forschungsprojektes orientieren kann. Die Erarbeitung der Attribuierungsmatrizen wird in Kapitel 3.5.6 detailliert beschrieben.

7. Modellbasierte Zertifizierung einzelner Nachhaltigkeitskriterien	
Inhalt	Beschreibung
Abgebildete Nachhaltigkeitskriterien	Die in den AIA geforderten Nachhaltigkeitskriterien sind durch den BAP vertraglich festzulegen.
Methoden zur modellgestützten Nachweisführung	Die Methoden zur modellgestützten Abprüfung der Nachhaltigkeitsanforderungen sind zu beschreiben. Der Nachweisprozess unter Angabe von Softwarelösungen und Dokumenten ist anzugeben. Der im Zuge des Pilotbetriebes verwendete Nachweisprozess unter Angabe der Softwarelösungen ist in Kapitel 3.5.8 dargestellt.
8. Kollisionsprüfungen	
Inhalt	Beschreibung
Sicherung der Modellqualität	Zur Sicherung der Modellqualität in Hinblick auf den Informationsgehalt der Nachhaltigkeitsanforderungen wird das Gesamtkoordinationsmodell vor Übergabe an den Auftraggeber mittels eines Modelchecks auf seine Qualität geprüft. Grundlage dafür bilden die in den Attribuierungsmatrizen angegebenen Nachhaltigkeitsparameter. Vorhandene Diskrepanzen in der Modellqualität werden über das BCF-Format durch den BIM-Gesamtkoordinator an den jeweiligen Fachplaner kommuniziert.
9. Datenübergabepunkte (Data Drops)	
Inhalt	Beschreibung
Modellgestützte Vorzertifizierungen	Neben den allgemeinen projektspezifischen Datenübergabepunkten an den Auftraggeber, sind Termine zur modellgestützten (Vor-)Zertifizierung durch den Nachhaltigkeitsauditor festzulegen. Dafür ist ein qualitätsgeprüftes Koordinationsmodell durch den BIM-Gesamtkoordinator an den BIM-Manager zu übergeben. Die internen Übergaben der einzelnen Fachmodelle und die Zusammenführung als Gesamtkoordinationsmodell sind mit entsprechender Vorlaufzeit zu terminieren.

3.5. Umsetzung Pilotprojekt

3.5.1. Vorstellung des Pilotprojektes

Die Ergebnisse aus der in Kapitel 3.2 dargestellten Simulation des BIM-Sollprozesses wurden im Zuge des Forschungsprojektes ONIB an einem Pilotprojekt getestet und validiert. Auf Basis der in Kapitel 3.4.5 und 3.4.6 beschriebenen Dokumente der AIA und des BAP und der im Simulationsworkshop erarbeiteten Kollaborationsmethodik im BIM-Projekt wurde dazu ein aktuell real durchgeführtes Bauprojekt als Demonstrationsobjekt verwendet, um die Abbildung von Nachhaltigkeitsanforderungen in digitalen Modellen zu testen und den BIM-Sollprozess exemplarisch zu durchlaufen. Dazu wurden im Rahmen des Forschungsprojektes die zwei DGNB-Kriterien SOC2.1 „Barrierefreiheit“ und ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ untersucht. Eine weiterführende Beschreibung zur Auswahl und Inhalten der gewählten Nachhaltigkeitskriterien folgt in Kapitel 3.5.3. Das Beispielprojekt befindet sich derzeit in der Realisierung. Eine Nachhaltigkeitszertifizierung ist für das Gebäude ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht geplant, jedoch eignet es sich aufgrund seiner Übersichtlichkeit für die Untersuchung der gewählten Nachhaltigkeitskriterien am digitalen Modell als Demonstrator in besonderem Maße. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit wurde ein Gebäude gewählt, welches sich in seinem Umfang mit einer Bruttogeschossfläche (BGF) von ca. 1.450 m² als Untersuchungsgegenstand des Forschungsprojektes eignet. Das geplante Gebäude umfasst zwei Geschosse und ist in zwei Bereiche unterteilt: einen Bürotrakt mit einer BGF von ca. 642 m² und ein anschließendes Lagergebäude mit einer BGF von ca. 808 m². Der Haupteingang erfolgt über ein zweigeschossiges Foyer, mit Luftraum und Galerie im 1. Obergeschoss. Die Erschließung des Obergeschosses erfolgt über eine Treppe hinter dem Foyer und einen Aufzug im Eingangsbereich. Das Gebäude lässt sich in das Nutzungsprofil „Büro- und Verwaltungsgebäude“ des DGNB-Zertifizierungssystem einordnen.



Abbildung 27: Pilotprojekt htm.a Architektur GmbH: Neubau eines Bürogebäudes mit Lagerhalle in Seelze-Letterholz, Deutschland

Die Objekt- und Tragwerksplanung des Gebäudes bis einschließlich der Leistungsphase 5: Ausführungsplanung erfolgt auf konventionelle Weise. Für die Betrachtung von Nachhaltigkeitsaspekten im Rahmen des Forschungsprojektes wurde für das Gebäude ein objektorientiertes Informationsmodell (BIM-Modell) unter Anwendung der Modellierungssoftware Allplan Architecture 2019 erstellt, welches als Grundlage für die Pilotierung des BIM-Sollprozesses dient.

3.5.2. Digitaler Projektaufsatz

Für die beispielhafte Umsetzung des BIM-Sollprozesses im Rahmen dieses Forschungsprojektes ist die Anwendung einer Reihe von BIM-Softwaretools notwendig. Neben den nativen Modellierungsprogrammen zur Erstellung des digitalen Gebäudeabbildes und der Implementierung der Nachhaltigkeitsinformationen, sind weiterhin eine digitale Projektplattform und eine Modellprüfungssoftware nötig um den Prozess der Nachhaltigkeitsabbildung an digitalen Gebäudemodellen praktikabel umzusetzen. Im Rahmen eines openBIM-Ansatzes sind die Projektplattform und Prüfsoftware über das neutrale Modelldatenaustauschformat Industry Foundation Classes (IFC) für alle Planungsbeteiligten zugänglich zu halten, welches von der Dachorganisation buildingSMART konzipiert und weiterentwickelt wird [20]. Durch den neutralen Datenaustausch ist eine Modellverarbeitung unabhängig der verwendeten nativen Modellierungssoftware möglich. Dazu muss ein verlustfreier IFC-Export durch die Modellierungssoftware und ein IFC-Import durch die Kollaborations- und Prüfsoftware sichergestellt werden. Building-SMART, in den deutschsprachigen Ländern durch buildingSMART e.V. vertreten, bietet dafür ein Zertifizierungsprogramm für Softwareprodukte an, welches die korrekte Verarbeitung des herstellerunabhängigen Datenaustauschformates bestätigt [21].

Um die allgemeingültige Praxistauglichkeit des BIM-Sollprozesses, unabhängig gewählter Modellierungs-, Kollaborations- oder Modellprüfsoftware gewährleisten zu können, wurde im Rahmen des Pilotbetriebes der openBIM-Ansatz unter Verwendung des IFC-Formates als Datenaustauschformat verfolgt.

Die verwendete Modellierungssoftware Allplan Architecture ist für das Austauschformat IFC in der neusten Version IFC 4 und der aktuell noch sehr verbreiteten IFC 2x3 Version zertifiziert. Dies gilt gleichermaßen für die Formate .ifc und .ifcXML, von welchen letzteres auf der XML-Deklaration beruht, also von Mensch und Maschine gleichermaßen gelesen und bearbeitet werden kann.

Für die Bearbeitung des Pilotprojektes wurde die Verwendung eines Common Data Environment als zentrale Datenmanagementplattform festgelegt. Das CDE stellt die Bereitstellung und Verwaltung aller für die Planung (und Realisierung) relevanten Daten als zentrale Informationsplattform sicher. Durch die Nutzung eines CDE als „Single Source of Truth“ (SSoT), sorgt dieses für ein hohes Maß an Transparenz und Konsistenz aller Projektdaten.

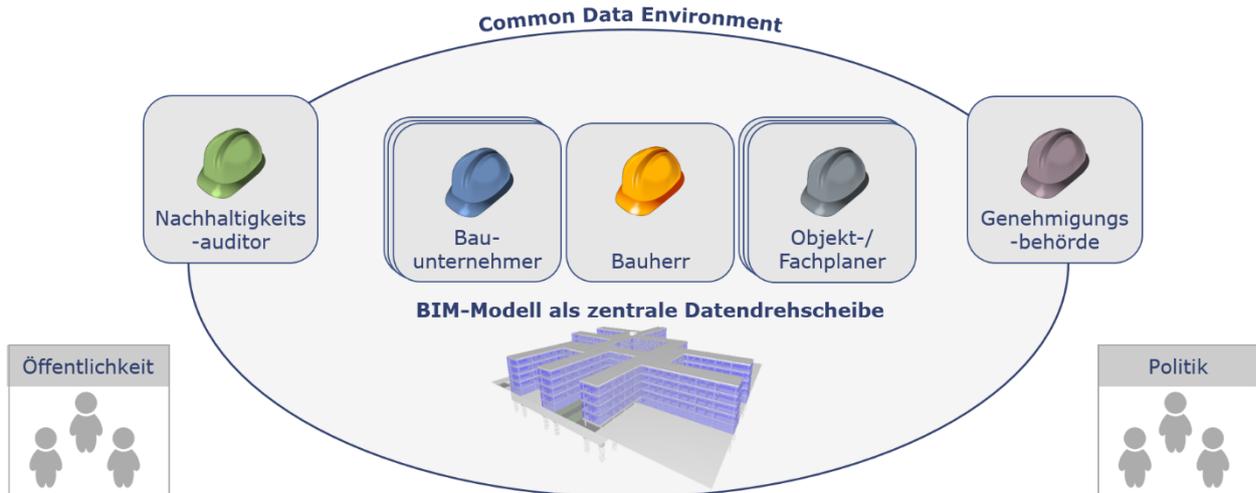


Abbildung 28: Das Common Data Environment als Single Source of Truth [17]

Über ein Berechtigungskonzept kann der Zugriff der einzelnen Projektbeteiligten nach dem in Kapitel 3.4.3 beschriebenen Rollenkonzept gesteuert werden und Datenstrukturen unterschiedlichen Nutzergruppen zur Verfügung gestellt werden. Dabei können sowohl Lese- als auch Schreibrechte der einzelnen Rollen definiert werden, sodass jeder Beteiligter Zugriffsberechtigungen im Sinne seiner Rolle nach dem BIM-Rollenkonzept erhält. Abbildung 29 stellt beispielhaft das Berechtigungskonzept für das Pilotprojekt dar.

	Architekt Objektplaner	TGA	TWP	Nachhaltigkeitsauditor	Bauherr/Dritte
	Schreibrechte	Leserechte	Kein Zugriff		
Modell in Bearbeitung (Architekt)					
Modell in Bearbeitung (TGA)					
Modell in Bearbeitung (TWP)					
Vom Planer bereitgestellt					
Vom Architekten qualitätsgesichert					
Vom Bauherren abgenommen					

Abbildung 29: Steuerung von Lese- und Schreibrechten (Eigene Darstellung)

Die Fachplaner sind für die Erstellung der jeweiligen Modelldaten inkl. Nachhaltigkeitsabbildung zuständig und geben ihr Modell als IFC-Export über das CDE an die weiteren Fachplaner frei. Für diesen bleiben die Fachmodell der weiteren Disziplin durch das IFC-Format schreibgeschützt, jedoch können sämtliche geometrischen und semantischen Modellinformationen über das CDE gelesen werden. Sobald die einzelnen Teilmodelle durch den jeweiligen Fach-

planer bereitgestellt worden sind, erhält der Nachhaltigkeitsauditor durch das Berechtigungskonzept automatisch Zugriff auf sämtliche Modelldaten. Über das Anlegen von BCF-Aufgaben kann er frühzeitig Planungsfehler in Hinsicht auf die Bewertung der Gebäudenachhaltigkeit erkennen und an den jeweiligen Fachplaner überspielen. Die Erstellung, Bearbeitung und Schließung von Aufgaben innerhalb des BCF-Issuemangements können über das CDE jederzeit von allen leseberechtigten Personen begutachtet und nachvollzogen werden. Durch implementierte Workflows, wie das BCF-Issuemangement werden auf der Plattform erzeugte und hinterlegte Daten strukturiert, qualitätsgesichert und zielgerichtet an die jeweils relevanten Adressaten verteilt.

Das CDE nimmt dabei eine wesentliche Rolle im Projekt ein, da es sich von einem klassischen Dokumentenmanagementsystem oder virtuellen Projektraum durch Integration des digitalen Gebäudemodells unterscheidet. Die Möglichkeit Dokumente objektreferenziert in der gemeinsamen Umgebung abzulegen, ermöglicht einen direkt auf das Gebäude bezogenen Dokumentenworkflow. Durch das Vorhalten von Modelldaten und mit dem Modell verknüpfte Informationen wie beispielsweise Nachhaltigkeitsparameter ergibt sich für alle Projektbeteiligten eine Hol- und Bring-Schuld über das CDE als einzig gültige Informationsquelle.

Für das Pilotprojekt des Forschungsprojektes wurde das CDE-Tool „Squirrel“ des Projektpartners albert.ing GmbH verwendet. Dabei handelt es sich um ein webbasiertes, softwareunabhängiges Common Data Environment, welches ohne native Softwareinstallation auf mobilen und stationären Endgeräten über einen Webbrowser abrufbar ist. Dadurch können die Projektbeteiligten unabhängig ihres Aufenthaltsortes zu jedem Zeitpunkt auf die gesamtheitlichen geometrischen und semantischen Informationen der Projektplattform zugreifen.

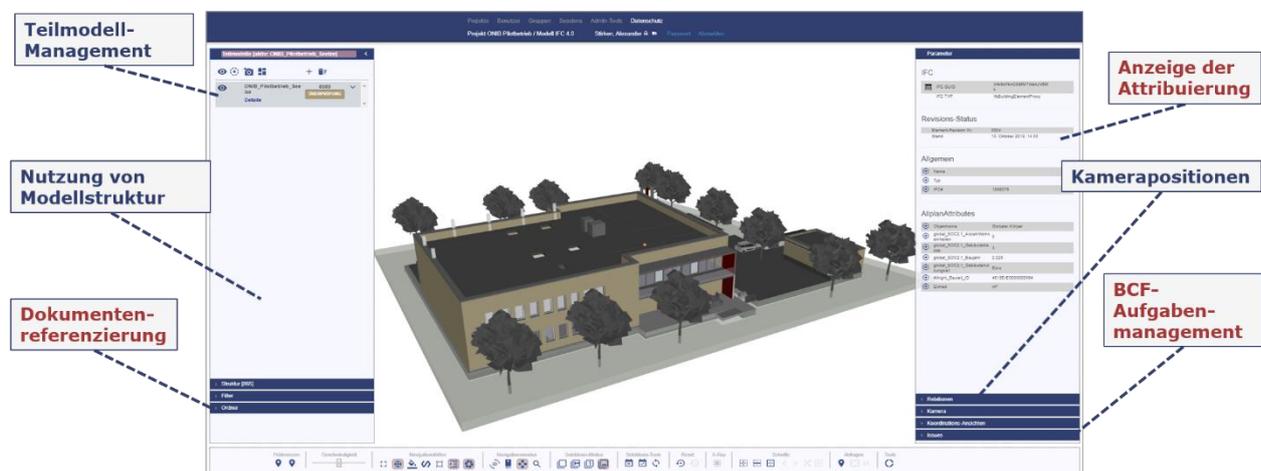


Abbildung 30: Funktionsumfang des webbasierten CDE „Squirrel“ des Projektpartners albert.ing GmbH

Durch das Tool werden die für den Pilotbetrieb notwendigen Anforderungen an ein CDE vollumfänglich erfüllt, um eine modellbezogene Kollaboration zu ermöglichen. Die in Tabelle 3 aufgelisteten Funktionen des Common Data Environment sind im Rahmen des Forschungsprojektes von elementarer Wichtigkeit um eine gemeinsame Nutzung des Projektraumes durch die Bearbeiter, unabhängig von modellgestützten Nachhaltigkeitszertifizierung zu gewährleisten.

Tabelle 3: Kollaborationsfunktionen des CDE „Squirrel“ der Firma albert.ing GmbH

Funktion	Beschreibung
Teilmodell-Management	Teilmodelle lassen sich in beliebiger Anzahl anlegen und individuell benennen. Jedem Teilmodell können mehrere Revisionen (als IFC-Datei) hinzugefügt werden um Revisionsvergleiche durchzuführen. Weiterhin lassen sich Teilmodelle einzeln oder gesamthaft ein- und ausblenden sowie beliebig kombinieren.
Modellstruktur	Alle Modellobjekte werden über Ordner in einer Baumstruktur gegliedert. Werden Objekte selektiert, so wird auch ihre Position in der Modellstruktur direkt angezeigt. Hier lassen sich ebenfalls einzelne Objekte oder gesamte Ordner ein- und ausblenden oder selektieren.
Modellfilter	Über die Filterfunktion lassen sich Teilmodelle anhand von Attributen und Informationen nach Belieben filtern.
Dokumentenreferenzierung	Es können Ordner erstellt werden, welche bestimmten Objekten zugeordnet sind. In diesen Ordner lassen sich Dateien aller gängigen Formate ablegen und so mit den Objekten referenzieren.
Anzeige der Modellattribute	Von selektierten Objekten lassen sich alle semantischen Informationen in Form von Attributen ablesen. In dieser Attributliste können Filter gesetzt werden.
Kamerapositionen	Häufig verwendete Ansichten können als Kameraposition gespeichert werden. Dabei wird die Kombination der sichtbaren Teilmodelle beibehalten. Es ist auch möglich Schnitte durch Objekte oder Modelle zu speichern..
BCF-Aufgabenmanagement	BCF-Issues können in Squirrel erstellt sowie importiert und exportiert werden. In einer Eingabemaske lassen sich verschiedene Informationen wie Kategorie, Verantwortlichkeit, Fälligkeitsdatum und weitere festlegen. Die Issues können weiterhin gefiltert, sortiert und über ein Dashboard ausgewertet werden
Berechtigungskonzept	Den unterschiedlichen Projektbeteiligten können je nach Rolle verschiedene Berechtigungen in der CDE gegeben werden (Lesen, Schreiben, Modellanlage, Statusänderung, etc.).
Statusmanagement	Der Planungsfortschritt der einzelnen Teilmodelle und Revisionen wird über die Status „Bearbeitung“, „Überprüfung“ und „Geteilt“ abgebildet. Koordinationsansichten können zusätzlich die Status „Autorisierung“ und „Freigeben“ erreichen.

Neben den durch das CDE „Squirrel“ bereitgestellten Funktionen zur Kollaboration der Projektbeteiligten, ist die Anwendung von Softwareprodukten zur Modellprüfung notwendig. Durch sogenannte „Modelchecker“ kann das Modell auf seinen geometrischen und semantischen Informationsgehalt geprüft werden. Nach dem BIM-Sollprozess ist im Rahmen der Abbildung von Nachhaltigkeitsinformationen in einem digitalen Bauwerksmodell ein zweistufiger Modellprüfungsprozess vorgesehen.

In einem ersten Schritt wird die Modellqualität des Gesamtkoordinationsmodells nach Implementierung der Nachhaltigkeitsanforderungen durch den BIM-Gesamtkoordinator auf logische Konsistenz und Vollständigkeit geprüft (Modellqualitätsprüfung). Nach Freigabe des geprüften Modells an den Auftraggeber, kann dieser in Zusammenarbeit mit dem Nachhaltigkeitsauditor gemäß BIM-Sollprozess modellgestützte Nachhaltigkeitsbewertungen am Modell durchführen. Beide Prozesse benötigen die Verwendung einer Modelchecker-Software und werden im weiteren Verlauf dieses Berichtes detailliert beschrieben.

Zum modellbasierten Abprüfen der Modellkonsistenz und der Nachhaltigkeitsanforderungen wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes die Software „Solibri Model Checker“ (SMC) der Firma Graphisoft GmbH verwendet. Untersuchungen zur Qualitätssicherung des Pilotprojektes wurden mit der Prüfsoftware Desite MD der Firma ceapoint aec technologies GmbH durchgeführt. Die Anforderungen an die Modellprüfsoftware und die Funktionsweise werden in Kapitel 3.5.8 im Zuge der modellgestützten Nachweisführung erläutert und diskutiert.

Tabelle 4: Übersicht der im Pilotprojekt verwendeten Software

Funktion	Hersteller/Name	Version
Modellierungssoftware	Allplan Architecture 2019	2019-0-1
Modellierungssoftware	Revit 2019	19.2.1.1
Common Data Environment	Squirrel	2.0.5.9
Modelchecker	Solibri Model Checker	V9.9
Modelchecker	Desite MD	Pro 2.4.5

3.5.3. Auswahl der Nachhaltigkeitskriterien

Die Wahl der Nachhaltigkeitskriterien erfolgt auf Basis verschiedener Randbedingungen, die für Untersuchung in diesem Forschungsprojekt priorisiert betrachtet werden sollen. Die Informationsanforderungen für die modellgestützte Auswertung der Beispielkriterien sollen abgeleitet von einer Prozessmodellierung der Einzelkriterien vollumfänglich durch das Modell abgebildet werden. Es werden weiterhin Kriterien gewählt, die in einer frühen Leistungsphase ganzheitlich abgebildet werden können, um zusätzlich die Einbindung des DGNB-Auditor in einer frühen Planungsphase darzustellen. Dabei wird ein Ansatz zur gesamthaften Datenintegration in das Bauwerksmodell gewählt, um sicherzustellen alle für die Nachhaltigkeitsbewertung notwendigen Daten bei den untersuchten Kriterien vollumfänglich aus den geometrischen und semantischen Modelldaten zu entnehmen. Als Beispiel ist das DGNB-Kriterium „Barrierefreiheit“ (SOC 2.1) zu nennen, welches lediglich über zusätzlich zu implementierende Bauteilparameter für die Abfrage der Barrierefreiheit von Sanitärräumen, Eingängen und Zuwegung, Erschließung aller Nutzungseinheiten umgesetzt werden kann.

Das Referenzieren von externen Datenbanken wie beispielsweise ÖKOBAU.dat, wie es für viele Nachweise der ökologischen Zertifizierung notwendig wäre, wurde bei der prozessualen und methodischen Betrachtung der Nachhaltigkeitsabbildung im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht beleuchtet. Beispielhaft ist hier das DGNB-Kriterium „Umweltverträgliche Materialgewinnung“ (ENV 1.3) zu nennen, welches als Bedingung Handelszertifikate der Lieferanten zur Nachweiserfüllung fordert. Die Abbildung im BIM-Prozess erfolgt hier über das Referenzieren eines externen Dokuments bzw. einer extern abliegenden Datei.

Für die detaillierte Abbildung des BIM-Sollprozesses im Pilotbetrieb des Forschungsprojektes wurde das Kriterium „Barrierefreiheit“ (SOC 2.1) aus dem Bereich „Soziokulturelle und funktionale Qualität“ und das Kriterium „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ (ECO2.1) des Bereichs „Ökonomische Qualität“ des DGNB System Kriterienkatalog Gebäude Neubau Version 2018 [22] auf Basis der genannten Randbedingungen gewählt.

SOC2.1 „Barrierefreiheit“

Das Kriterium „Barrierefreiheit“ setzt sich als Ziel, die gesamt gebaute Umwelt jedem Menschen uneingeschränkt zugänglich und nutzbar zu machen. Dabei soll die Zugänglichkeit unabhängig von der persönlichen Situation sein. Durch die Berücksichtigung der Grundsätze des barrierefreien Bauens bereits in frühen Phasen der Gebäudeplanung, können ökonomische und ökologische Kosten für Umbaumaßnahmen weitestgehend vermieden werden. Barrierefreies Bauen erhöht die Attraktivität von Gebäuden für alle Personengruppen und stellt in Bezug auf den demografischen Wandel eine Grundvoraussetzung für nachhaltig nutzbare Gebäude dar. Das Kriterium „Barrierefreiheit“ (SOC2.1) stellt ein Ausschlusskriterium im DGNB Zertifizierungssystem dar (dies gilt nicht für die Nutzungsprofile Neubau Logistik und Neubau Produktion). Erfüllt das zu zertifizierende Bauwerk die jeweiligen Mindestanforderungen an die Barrierefreiheit nicht, wird es von der Zertifizierung ausgeschlossen. Die Bewertung erfolgt qualitativ und quantitativ nach dem Grad der Erfüllung. Je mehr Gebäudebereiche von Menschen mit motorischen, sensorischen und/oder kognitiven Einschränkungen zugänglich sind,

desto besser fällt die Bewertung des Gebäudes aus. Die maximal erreichbare Checklistenpunktzahl beträgt für die Barrierefreiheit 100 Punkte. Das Kriterium gliedert sich dabei für die im Pilotprojekt vorliegende Nutzungskategorie „Büro- und Verwaltungsgebäude“ in fünf Qualitätsstufen. Die erste Qualitätsstufe entspricht dabei gleichzeitig den DGNB-Mindestanforderungen, muss also im Zuge einer Zertifizierung mindestens erreicht werden. Die Erreichung weiterer Qualitätsstufen richtet sich für die vorliegende Nutzungskategorie am barrierefrei erreichbaren Anteil der nutzungsspezifischen Gebäudebereiche, hier folglich der Arbeitsstätten inkl. der zugehörigen relevanten Bereiche in Bezug auf die Nutzungsfläche (NUF). Der Anteil an der Gesamtbewertung beträgt für die Nutzungskategorie „Büro- und Verwaltungsgebäude“ 3,1 % bei einem Bedeutungsfaktor von 3. Tabelle 5 fasst die Punkteverteilung und die damit einhergehenden Anforderungen an den barrierefrei begehbaren Anteil der Arbeitsstätten zusammen.

Tabelle 5: Punkteverteilung der Qualitätsstufen für das Kriterium SOC2.1 Barrierefreiheit [22]

Indikator	Anforderungen	Punktzahl
Qualitätsstufe 1 / DGNB Mindestanforderung	Gesetzliche Mindestanforderungen gemäß gültiger Bauordnung werden eingehalten	10 - max. 24
Qualitätsstufe 2	Min. 10 % der Arbeitsstätten sind barrierefrei erreichbar und Anordnung barrierefreier Sanitäranlagen in diesen Bereichen	25 - max. 49
Qualitätsstufe 3	Min. 50 % der Arbeitsstätten sind barrierefrei erreichbar und Anordnung barrierefreier Sanitäranlagen in diesen Bereichen	50 - max. 74
Qualitätsstufe 4	Min. 75 % der Arbeitsstätten sind barrierefrei erreichbar und Anordnung barrierefreier Sanitäranlagen in diesen Bereichen	75 - max. 99
Qualitätsstufe 5	Min. 95 % der Arbeitsstätten sind barrierefrei erreichbar und Anordnung barrierefreier Sanitäranlagen in diesen Bereichen	100

Zur Erfüllung der Mindestanforderungen des Kriteriums müssen die bauordnungsrechtlichen Anforderungen bezüglich der Barrierefreiheit eingehalten werden. Als Grundlage hierfür wird die jeweils gültige, im vorliegenden Falle die Niedersächsische Bauordnung (NBauO) herangezogen. Zusätzlich sind die Anforderungen der DIN 18040 – Barrierefreies Bauen [23] einzuhalten, welche durch die jeweils gültige Bauordnung baurechtlich eingeführt ist.

Die einzureichenden Unterlagen für den Nachweis zur Erreichung der Qualitätsstufe 1 umfassen dabei folgende Unterlagen [22]:

- Relevante Planunterlagen mit nachvollziehbar markierten und vermasst dargestellten Bewegungsflächen, Durchgangsbreiten u.a. erforderlichen Angaben
- Relevante Details (Übergänge, Orientierungssysteme, Bedienungselemente, Ausstattungselemente etc.)
- Fotodokumentation mit Erläuterung
- Bestätigung des Architekten/Sachverständigen, dass die Anforderungen an die Barrierefreiheit des Gebäudes entsprechend Mindestanforderungen dieses Kriteriums erfüllt sind.

Für die Qualitätsstufen 2-5 ist eine Darstellung und Markierung aller barrierefreien Arbeitsstätten in Grundrissen einzureichen und die Barrierefreiheit der entsprechenden Bereiche des Gebäudes durch den Architekten/Sachverständigen zuzusichern. Des Weiteren ist eine detaillierte Beschreibung des Gesamtkonzeptes der barrierefreien Gestaltung des Gebäudes unter Einbeziehung aller Maßnahmen im Sinne der Barrierefreiheit einzureichen.

ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“

Das Kriterium „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ setzt das Ziel, dass das Gebäude so flexibel wie möglich konzipiert und geplant wird, damit zu jedem Zeitpunkt eine möglichst große Umnutzungsfähigkeit durch geringe bauliche Anpassungen erreicht werden kann. Durch eine gute Umnutzungsfähigkeit und Flexibilität wird das Risiko des Gebäudeleerstandes vermindert und eine Verlängerung der Lebensdauer, sowie eine Reduzierung der Lebenszykluskosten durch Akzeptanz des Nutzers erhöht. Dies trägt zum wirtschaftlichen Erfolg der Immobilie bei. Im Kriterium SOC1.4 können 100 Checklistenpunkte (CLP) erreicht werden, inkl. einem Bonus von 10 Punkten für eine hohe Nutzungsintensität des Gebäudes können 110 CLP erreicht werden. Für die vorliegende Nutzungskategorie „Büro- und Verwaltungsgebäude“ beträgt der Anteil an der Gesamtbewertung 7,5% bei einem Bedeutungsfaktor von 3. Die erreichten Checklistenpunkte werden dabei an acht Indikatoren ermittelt, welche jeweils durch eine Kenngröße abgebildet werden. Tabelle 6 stellt die Indikatoren und zugehörigen Kenngrößen des Kriteriums ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ für die vorliegende Nutzungskategorie „Büro- und Verwaltungsgebäude“ dar.

Tabelle 6: Punkteverteilung und Kenngrößen für das Kriterium ECO2.1 Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit [22]

Indikator	Kenngröße	Anforderung	Punktzahl
Flächeneffizienz	Flächenbezogener Effizienzwert: Verhältnis nutzbare Fläche / Bruttogeschossfläche (BGF)	$\leq 0,48$ – $\geq 0,75$	1 - 10
Raumhöhe	Rohbaumaß	$\geq 3,00\text{m}$	10
Gebäudetiefe	Gebäudetiefe Fall 1: (Außenwand-Außenwand)	$10,00\text{m} \leq 16,50\text{m}$ $12,50\text{m} \leq 14,50\text{m}$	5 10
	Gebäudetiefe Fall 2: (Außenwand – Kern)	$5,00\text{m} \leq 8,25\text{m}$ $6,25\text{m} \leq 7,25\text{m}$	5 10
Vertikale Erschließung	Verhältnis Bruttogrundfläche / Anzahl Erschließungskerne (geschossweise)	$\leq 1200\text{m}^2$ bis $\leq 400\text{m}^2$	1 - 10
Grundrissaufteilung	Sanitäreinrichtungen oder Anschlüsse (Schacht) für Nachrüstung vorhanden	Sanitäreinheit je 400m^2 Nutzfläche	10
Konstruktion	Weitestgehende Vermeidung tragender Innenwände		2,5
	Einbau von Trennwänden in jeder Fassadenachse ohne Eingriff in Boden oder Deckenkonstruktion möglich		2,5
	Trennwände können wiederverwendet werden		2,5
	Nutzlastreserven für Umnutzung sind in statischer Berechnung berücksichtigt		2,5
Technische Gebäudeausrüstung	Die Verteilung und Anschlüsse können bei einer geänderten Raumsituation bzw. Umgestaltung angepasst werden [erhebliche-/einfache-/ohne bauliche Maßnahmen]	Lüftung/Klimatechnik	Max. 10 [1/7/10]
		Kühlung	Max. 10 [1/7/10]
		Heizung	Max. 10 [1/7/10]
		Wasser	Max. 10 [1/7/10]

Der Nachweis des Kriteriums erfolgt über Darstellung der Grundrisspläne des Gebäudes mit entsprechenden Vermaßungen und Auflistung der Berechnungsergebnisse aller Kenngrößen. Für den Indikator Gebäudetiefe ist zusätzlich ein Konzept für alternative Ansätze zur Umnutzungsfähigkeit einzureichen. Grundrissaufteilung und Technische Gebäudeausrüstung sind

weiterhin mit einer Fotodokumentation zu belegen und durch einen Nachweis der Nutzlastreserven zu vervollständigen.

3.5.4. Data Enrichment

Grundziel des Forschungsprojektes ist es Möglichkeiten zur Implementierung von Nachhaltigkeitsanforderungen in digitale Gebäudemodelle aufzuzeigen. Dazu wurden die Informationsanforderungen der GreenBIM-Templates im Simulationsworkshop mit dem Projektteam erarbeitet. Aus den gestellten Informationsanforderungen lässt sich neben den AIA- und BAP-Dokumenten die Notwendigkeit zur Aufstellung von Modell-Attribuierungsmatrizen für jedes Nachhaltigkeitskriterium ableiten.

Die Attribuierungsmatrizen stellen den gesamthaften Informationsbedarf des digitalen Gebäudemodells zur Abbildung des jeweiligen Nachhaltigkeitskriteriums dar. Die Anforderungen der Einzelkriterien müssen folglich durch die Attribuierungsmatrix in Datenstrukturen, welche innerhalb des Modells abbildbar sind übersetzt werden. Der Modellcontent soll dabei so aufbereitet werden, das alle notwendigen Informationen zur Nachhaltigkeitsabbildung direkt aus dem Modell entnommen werden können. Dabei soll die Konvention der geometrischen und semantischen Daten einem Muster folgen, welches eine Automatisierung der Modellabprüfung je Kriterium, unabhängig der jeweiligen Softwarelösung, möglich macht.

Zur Datenanreicherung des Pilotprojektes mit den notwendigen Informationen hat jedes betrachtete Nachhaltigkeitskriterium einen vierstufigen Analyse- und Umsetzungsprozess durchlaufen. Dazu wurden in einem ersten Schritt die Anforderungen aus dem Kriterienkatalog systematisch in Prozessdiagrammen analysiert, um die Forderungen der Nachhaltigkeitsnachweise aufzugliedern. In einem weiteren Schritt wurden anschließend die Attribuierungsmatrizen für die jeweiligen Kriterien durch das Institut für Baumanagement und Digitales Bauen erstellt. Eine detaillierte Beschreibung des Vorgehens erfolgt im weiteren Verlauf dieses Kapitels. Anschließend konnten die notwendigen Modellinformationen gemäß Attribuierungsmatrix durch den Projektpartner htm.a in das Modell des Pilotgebäudes eingepflegt werden. Abschließend durchliefen die Attribuierungsmatrizen unter Anwendung eines Modelchecker einen Testdurchlauf, um die Praktikabilität der Erstellten Matrizen zu validieren.

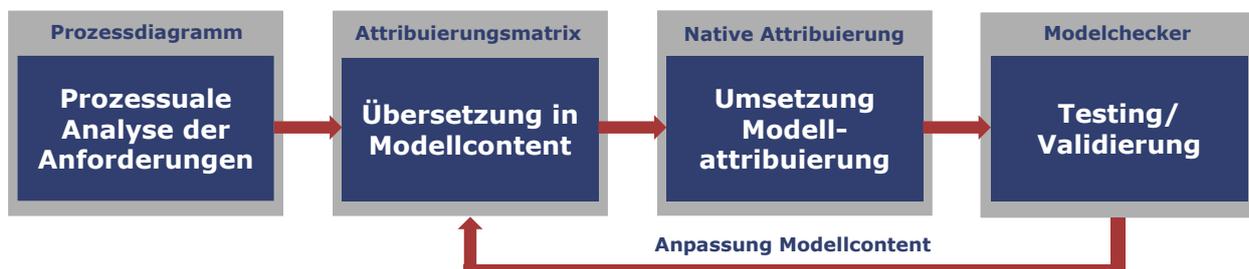


Abbildung 31: Analyse- und Umsetzungsprozess der Beispielkriterien (Eigene Darstellung)

Die Ergebnisse der Praktikabilität der Modelldatenanreicherung wurden nach einem Testdurchlauf im Modelchecker in den logischen Aufbau der Attribuierungsmatrizen rückgeführt. Bei der Erstellung der Attribuierungsmatrizen ist folglich Know-how beim Ersteller notwendig, welche technischen Möglichkeiten zu Datenauswertung durch aktuell am Markt verfügbare Modelchecker-Software zur Verfügung gestellt wird.

3.5.5. Prozessuale Analyse der Nachhaltigkeitsanforderungen

Für die im Rahmen des Forschungsprojektes untersuchten Kriterien ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ und SOC2.1 „Barrierefreiheit“ wurde als Grundlage für die Festlegung des notwendigen Modellcontents eine prozessuale Analyse der Kriterienanforderungen erstellt. Durch die Anwendung von Prozessdiagrammen konnten die Nachweisanforderungen und die sich draus ergebenden notwendigen Modellinformationen abgeleitet werden.

SOC2.1 „Barrierefreiheit“

Die Qualität der Barrierefreiheit ist bei der DGNB in fünf Stufen gegliedert. Für eine gesamthafte DGNB-Zertifizierung sind die definierten Mindestanforderungen der Barrierefreiheit zwingend zu erfüllen. Es können maximal 100 Punkte für die Gesamtzertifizierung erreicht werden, die zu einem festgelegten Prozentsatz von 3,1 % in der Gesamtzertifizierung gewichtet sind. Für die Erfüllung der Mindestanforderungen sind insgesamt fünf Bedingungen zu erfüllen: Die Anforderungen der gültigen MBO an die Barrierefreiheit, mindestens ein barrierefreier Toilettenraum, barrierefreie Eingänge und Zuwege im Bereich des Haupteinganges und der Personaleingänge, die barrierefreie Erschließung aller Nutzungseinheiten sowie die Berücksichtigung eines Informations-Leitsystems nach dem Zwei-Sinne-Prinzip. Je nach gewollter Qualitätsstufe der Barrierefreiheit sind weiterhin eine prozentuale Mindestfläche der gesamten Gebäudearbeitsfläche inklusive barrierefreier Toilettenräume für diese Arbeitsräume barrierefrei auszuführen. Für die Zertifizierung ab einem Qualitätsniveau der Stufe 2 ist des Weiteren ein detailliertes Gesamtkonzept zur Barrierefreiheit des Bürogebäudes zu erstellen [22].

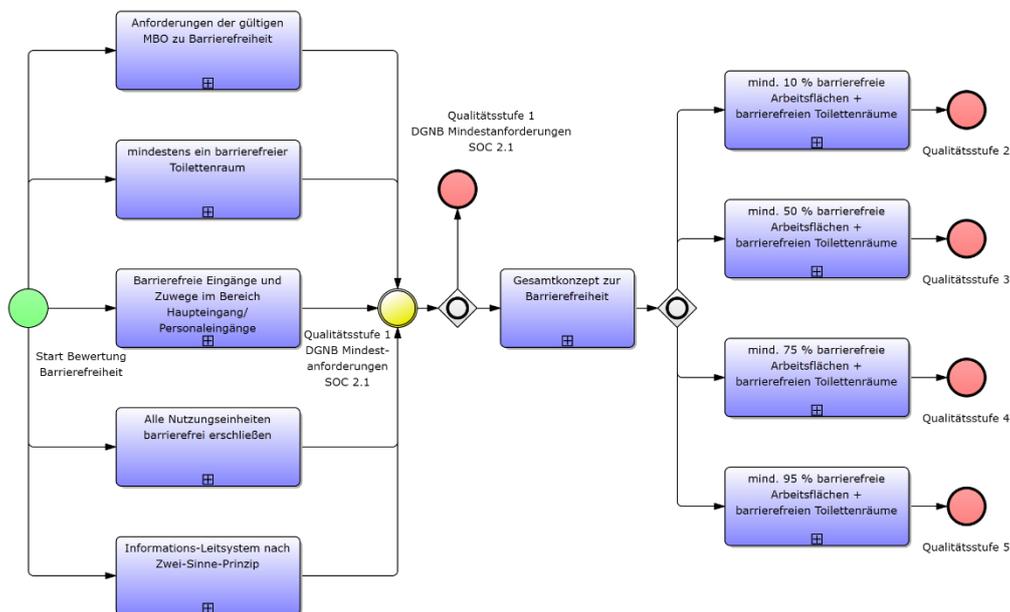


Abbildung 32: Prozess des Nachweises des Kriteriums SOC2.1 „Barrierefreiheit“ (Eigene Darstellung nach [22])

Die genannten Bedingungen sind mit notwendigen Subprozessen hinterlegt, die für die Erfüllung der einzelnen Bedingungen erfolgreich abgeschlossen werden müssen. Als Beispiel soll die Bewertung der Toilettenräume auf Barrierefreiheit, dargestellt als Prozessmodell in Abbildung 33, gezeigt werden.

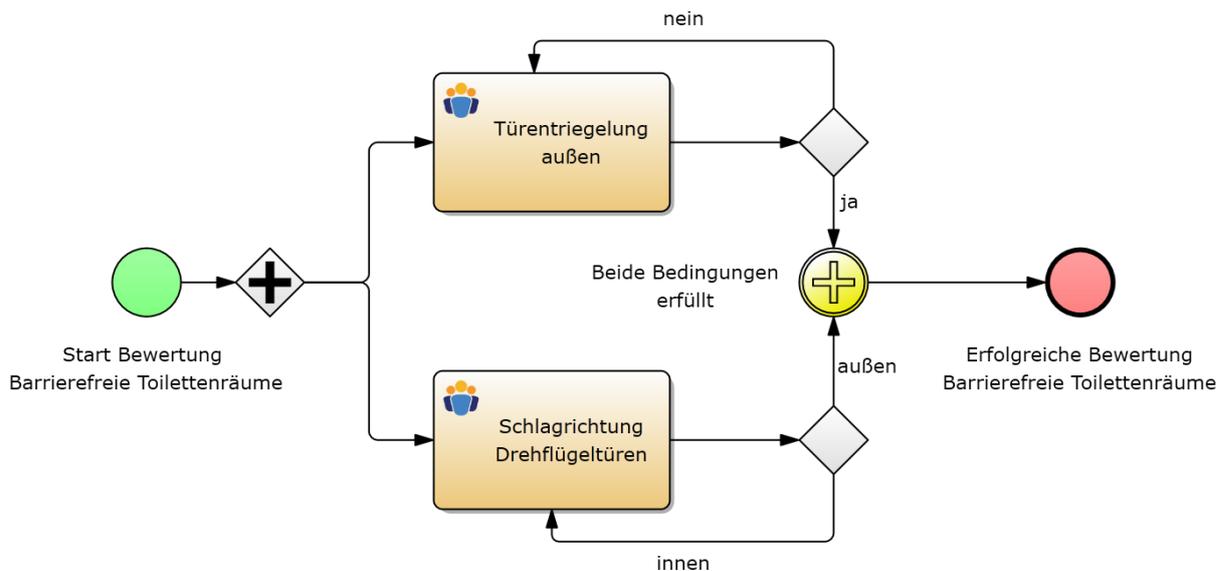


Abbildung 33: Subprozess SOC2.1 „barrierefreier Toilettenraum“ (Eigene Darstellung nach [22])

Die Barrierefreiheit des Toilettenraums ist bei von zwei definierten Randbedingungen erfüllt. Jeder barrierefreie Toilettenraum ist mit einer außenliegenden Türentriegelung sowie mit nach außen schlagenden Drehflügeltüren auszuführen. Sind beide Randbedingungen erfüllt, ist die Barrierefreiheit gewährleistet.

ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“

Für das Kriterium ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ kann in jedem der in Tabelle 6 dargestellten Indikatorbereich eine festgeschriebene Anzahl an Punkten erreicht werden. Der Gesamtprozess mit den Indikatorfeldern ist in Abbildung 34 dargestellt. Insgesamt sind sieben Indikatoren zu berücksichtigen, um die gewünschte Anzahl an Punkten zu erreichen: Die effiziente Ausnutzung der verfügbaren Bruttogeschossfläche, Anforderungen an Raumhöhe und Gebäudetiefe, die effiziente vertikale Erschließung des Objektes, eine Grundrissaufteilung für die spätere Nachrüstung sowie mehrere Anforderungen an die Konstruktion und die technische Gebäudeausrüstung.

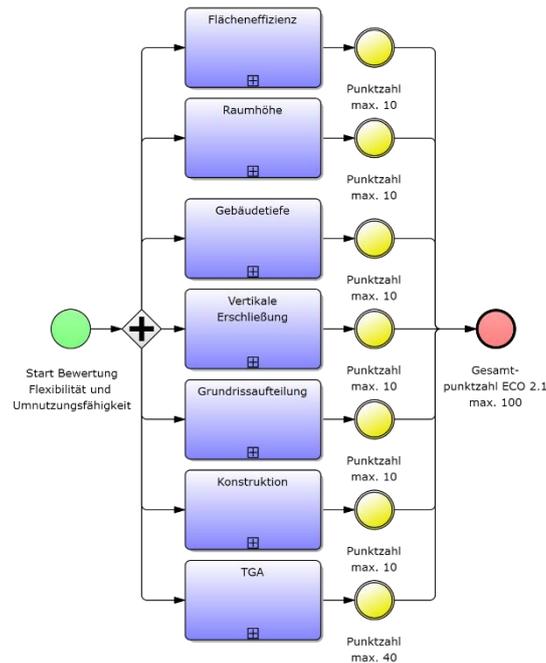


Abbildung 34: Prozess des Nachweises des Kriteriums ECO 2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ (Eigene Darstellung nach [22])

Für jeden Indikator wurden die Unterprozesse erarbeitet, um die Informationsanforderungen aus den Kriterien in den jeweiligen Modellcontent überführen zu können. Abbildung 35 stellt beispielhaft den Prozess für die Bewertung der Flächeneffizienz über den Quotienten der Bruttogesamtfläche und der Nutzfläche im Rahmen des Nachhaltigkeitskriteriums ECO2.1 dar.

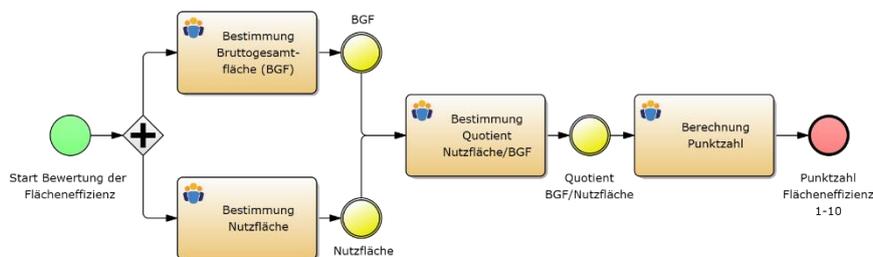


Abbildung 35: Subprozess ECO2.1 Flächeneffizienz (Eigene Darstellung nach [22])

Ausgehend von den erarbeiteten Prozessmodellen aller Subprozesse, wurden die Informationsanforderungen für die modellgestützte Bewertung der „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ in die Attribuierungsmatrix des Kriteriums überführt. Die prozessuale Abbildung der Nachweisführung dient als Grundlage zur Implementierung der jeweiligen Regelbeziehungen in die Modellprüfsoftware.

3.5.6. Aufbau der Attribuierungsmatrizen

Die Attribuierungsmatrizen stellen die Grundlage für die Datenanreicherung eines BIM-Projektes zur Abbildung von Nachhaltigkeitsanforderungen im Modell dar. Sie legen Anforderungen an die logischen Abprüfmethoden der einzelnen Nachhaltigkeitsanforderungen und die Modellparametrisierung fest. Jede Anforderung des Kriterienkataloges wird dabei inhaltlich ana-

lysiert und entweder in eine Verkettung von Modellattributen oder eine geometrische Nachweisanforderung an das Modell übersetzt. Dabei können normative Anforderungen rein parametrisch durch Zuweisung von semantischen Informationen zu spezifischen Bauteilen dargestellt werden oder durch geometrische Vorgaben beschrieben werden. Des Weiteren sind auch Kombinationen dieser Informationsbedürfnisse, bzw. Abhängigkeit zwischen mehreren Bauteilen möglich. In Abbildung 36 ist beispielhaft die Übersetzung von drei normativen Nachhaltigkeitsanforderungen des Kriteriums SOC2.1 „Barrierefreiheit“ in Modellcontent dargestellt.

Anforderung	Abbildung als Modellcontent	Logische Abfrage
<p><u>§34 Aufzüge (NBauO):</u> „Aufzüge müssen betriebsicher und brandsicher sein“</p>	<p>Parameterzuweisung</p> <p>Bauteil: Aufzug</p>	<p>Parameterabfrage: Ist der Aufzug betriebs-/brandsicher?</p>
<p><u>Barrierefreie Sanitärräume DIN 18040:</u> „Die Höhe der WC-Beckenoberkannte muss zwischen 0,46m und 0,48m betragen“</p>	<p>Bauteilgeometrie</p>	<p><u>Abstandsprüfung:</u> Beträgt der Abstand von OK WC-Becken bis OK Fertigfußboden zwischen 0,46m und 0,48m?</p>
<p><u>§45 Toiletten und Bäder (NBauO):</u> „Toilettenräume und Räume mit Badewannen oder Duschen müssen wirksam gelüftet werden können“</p>	<p>Parameterzuweisung</p> <p>Bauteile: Raum, Fenster, Lüftungsanlage</p>	<p><u>Mehrstufige Parameterabfrage:</u> <i>Check 1:</i> Handelt es sich um einen Toiletten-/Duschraum? <i>Check 2:</i> Befindet sich ein Fenster im Raum? <i>Check 2.1:</i> Falls Ja: Ist die Fenstergröße ausreichend? <i>Check 2.2:</i> Falls Nein: Verfügt die mechanische Lüftungsanlage im Raum über eine ausreichend große Luftwechselrate?</p>

Abbildung 36: Beispiele für die Abbildung von Nachhaltigkeitsanforderungen als Modellcontent (Eigene Darstellung)

Die systematische Analyse von Nachweisabläufen und deren technische Umsetzung auf Datenniveau ist folglich für die Erstellung der Attribuierungsmatrizen unabdingbar. Für die zielführende, für alle Projektbeteiligten verständliche und konsistente Beschreibung des Modellcontents wurden durch das Projektteam Mindestanforderungen an den Informationsgehalt der Attribuierungsmatrix gestellt. Diese sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Anforderungen an den Informationsgehalt der Attribuierungsmatrizen

Nr.	Informationsanforderung	Beispiel	Wertebereich
1	Anforderungsfeld/ Indikator	Barrierefreie Sanitärräume (DIN 18040) – Allgemeines	<i>Anforderungsbereich der normativen Vorgabe</i>
2	Anforderung/Beschreibung	Maximale Wassertemperatur darf 45°C betragen	<i>Normtext, welcher die Anforderung beschreibt</i>
3	Abbildung über:	Bauteilattribut	[Bauteilattribut, Nachweisanforderung, Globaler Parameter] <i>Beschreibt die Abbildung der Anforderung</i>
4	Prüfung durch:	Logische Abfrage Bauteilattribut	[Logische Abfrage Bauteilattribut, Logische Abfrage mehrerer Bauteilattribute, Geometrisch oder visuell, Elementanzahl] <i>Art der Anforderungsprüfung</i>
5	Beschreibung der logischen Prüfung	Parameter < 45?	<i>Beschreibung der logischen Prüfabfolge</i>
6	Notwendigkeit „custom“ Parameter	Ja	[Ja/Nein] <i>Sind zur Abbildung Parameter notwendig, welche nicht bereits im IFC-Format vorhanden sind</i>
7	Typ des Bauteilparameters	Custom ONIB	[Custom ONIB, IFC-Parameter, -] <i>Wird die Anforderung über ein IFC- oder selbst erstellten Parameter abgebildet</i>
9	IFC Objekttyp	IfcSanitaryTerminal	<i>IFC Element-Typ unter welchem das Attribut platziert wird</i>
10	Teilmodell	TGA	[Architektur, TGA, TWP] <i>Zuständiger Fachplaner</i>

Nr.	Informationsanforderung	Beispiel	Wertebereich
11	Benennung Attribut	SOC2.1_Wassertemperatur	<i>Falls es sich um ein selbst erstelltes Parameter handelt: Benennung nach Namenskonvention</i>
12	Beschreibung Attribut	Temperatur des Wassers aus der Waschbeckenarmatur	<i>Informative Beschreibung für den Anwender</i>
13	Datentyp Attribut	Double	(<List>) [double, string, int, boolean] <i>Datentyp zur Abbildung des Attributes</i>
14	Wertebereich/Einheit Attribut	[°]	<i>Wertebereich (z.B. bei Listen) bzw. Einheit des Attributes</i>
15	Default-Wert	40	<i>Für die Effiziente Umsetzung einer gesamthaften Modellattribuierung, ist die Festlegung von Default-Wert bei vielen Parametern sinnvoll</i>
16	Nachweisbereich Attribut	<45	<i>Angabe der Nachweisanforderung, welche sich aus den Anforderungen bei Abprüfung des Parameters ergeben</i>

Weiterhin kann eine vollumfängliche Attribuierungsmatrix um den frühesten und spätesten möglichen Implementierungszeitpunkt der Modellinformation erweitert werden. Geometrische Informationen, wie der Abstand der WC-Oberkante vom Fußboden werden durch Modellierung der Elemente in der Leistungsphase (LPH) 3 – Entwurfsplanung möglich. Anforderungen an die Innenraumhygiene, welche sich aus dem Kriterium SOC1.2 „Innenraumluftqualität“ ergeben, können erst nach Fertigstellung des Gebäudes und anschließender Messung erfolgen. Da für das Forschungsprojekt lediglich Kriterien gewählt wurden, welche im Rahmen einer Entwurfsplanung vollumfänglich abgebildet werden können, wurden die frühesten und spätestens möglichen Implementierungszeitpunkte des Modellcontents hier nicht betrachtet.

Namenkonvention der Modellparameter

Aus den Modellprüfungen zur Qualitätssicherung hat sich die Notwendigkeit einer klaren Namenkonvention zur Benennung der Nachhaltigkeitsparameter ergeben. Bei der strukturierten Überprüfung des Modellinhaltes sorgt eine konsistente Parameterkonvention für eine klare Zuordnung der Nachweisparameter. Vor allem bei manueller Modellprüfung zur Kontrolle einzel-

ner Anforderungen im Rahmen des Planungsprozesses, können der Namenskonvention folgende Parameter schnell im Datensatz der Elemente identifiziert werden. Zusätzlich ist die konsistente Benennung der Parameter für eine softwareunabhängige Teilautomatisierung des Prozesses der modellgestützten Nachweisführung unerlässlich. Dies wird weiterführend in Kapitel 3.5.8 diskutiert. Für das Pilotprojekt wurde die in Abbildung 37 dargestellte Namenskonvention verwendet und im BAP festgeschrieben.



Abbildung 37: Namenskonvention des Pilotprojektes (Eigene Darstellung)

Durch die Verwendung des Kürzels der Kriterien im Parameternamen ist eine für den Menschen lesbare Zuordnung zu den Kriterienanforderungen möglich. Durch eine passende Parameterbezeichnung ist für alle Projektbeteiligten der Hintergrund des Modellattributes ersichtlich, wodurch Rückschlüsse auf die Attribuierungsmatrix und die dort vorhandenen weiteren Informationen leicht möglich sind. Dies hat sich für die gemeinsame Kommunikation im Pilotprojekt als äußerst nützlich erwiesen.

Auswertung der Attribuierungsmatrizen

Die Erstellung der Attribuierungsmatrizen für die DGNB-Kriterien SOC2.1 „Barrierefreiheit“ und ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ hat die Übersetzung von 132 (SOC2.1) bzw. 20 (ECO2.1) Anforderungen in Modellcontent notwendig gemacht. Diese Anforderungen wurden wiederum in 172 (SOC2.1) bzw. 26 (ECO2.1) Modellinformationen übersetzt, welche sich in Bauteilparameter, globale Attribute und Nachweisanforderungen (geometrisch, visuell, logisch) überführen ließen. Die prozentuale Verteilung der notwendigen Modellinformationen zur Abbildung der jeweiligen Kriterien ist in Abbildung 38 dargestellt.

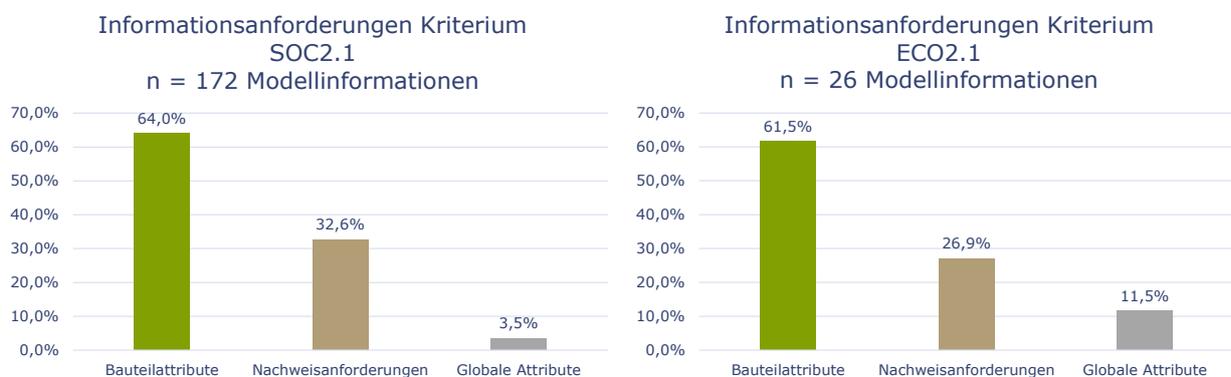


Abbildung 38: Verteilung der Modellinformationen für die Kriterien SOC2.1 und ECO2.1 (Eigene Darstellung)

Je Kriterium sind unter Einbeziehung von globalen Parametern, ca. 70% des notwendigen Modellcontents durch Objekteigenschaften abzubilden. Die Nachweisanforderungen, welche

sich beispielsweise auf die geometrischen Gegebenheiten im Modell beziehen, ergeben nur einen Anteil zwischen 32,6% (SOC2.1) und 26,9% (ECO2.1).

Des Weiteren wurde der Anteil an zu erstellenden Parametern ausgewertet, welche aktuell nicht in der IFC-Datenstruktur hinterlegt sind und aus diesem Grund für die Abbildung der Nachhaltigkeitsanforderungen im digitalen Gebäudemodell benutzerdefiniert erzeugt werden mussten. Der relative Anteil der „Custom ONIB“-Attribute für die Kriterien SOC2.1 und ECO2.1 ist in Abbildung 39 dargestellt.

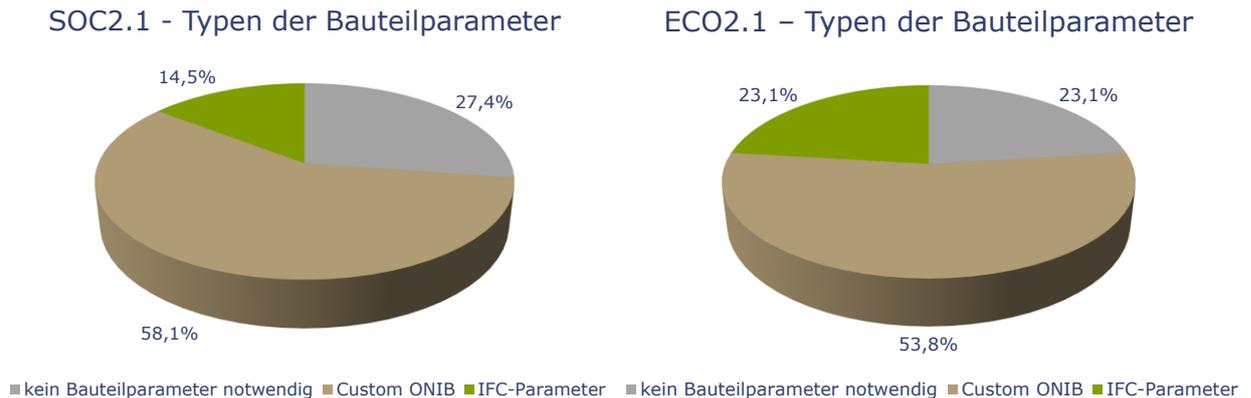


Abbildung 39: Relativer Anteil der „Custom ONIB“ Attribute an den notwendigen Modellinformationen (Eigene Darstellung)

Der Anteil der benutzerdefiniert zu erzeugenden Parametrisierung liegt für beide Kriterien bei über 50% des Gesamtmaßes der notwendigen Modellinformationen zur Abbildung der Kriterien. Ein Großteil der notwendigen Informationen ist dem Modell folglich händisch zuzuweisen.

Die Auswirkungen dieser Auswertung in Hinblick auf die Erarbeitung von Standardisierten Attribuierungsmatrizen und der Betrachtung weiterer Nachhaltigkeitskriterien zur Abbildung im BIM-Modell sollen weiterführend in Kapitel 4 diskutiert werden.

3.5.7. Umsetzung der Modellattribuierung und Modellierungsvorgaben

Ausgehend von den in Kapitel 3.5.6 beschriebenen Attribuierungsmatrizen für die DGNB-Kriterien ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ und SOC2.1 „Barrierefreiheit“ erfolgte die softwaretechnische Umsetzung der Modellattribuierung des Beispielprojektes. Um die kontinuierliche Überarbeitung des Modellcontents während der Pilotierungsphase zu minimieren, wurden prozessuale Leitplanken für das Data Enrichment des Pilotprojektes definiert:

1. Trennung von bautechnischer Modellierung und der Parametrisierung des Modells mit Nachhaltigkeitsinformationen.

Da zum aktuellen Stand keine Modellbibliotheken mit bereits implementierten Nachhaltigkeitsattributen beim Projektpartner htm.a bestehen, wird die bautechnische Modellierung vom Anreichern des Modells mit den Nachhaltigkeitsattributen aus der Attribuierungsmatrix getrennt.

2. Die Erstellung und Verwaltung der Nachhaltigkeitsattribute soll dezentral und modellunabhängig in der nativen Softwareumgebung erfolgen.

Der Zugriff auf die erstellten Attribute soll durch alle planenden Architekten des Projektpartners erfolgen können. Dafür werden Attributbibliotheken in der nativen Planungssoftware erstellt. Änderungen an den einzelnen Parametern sind nur in den zentral abgelegten Attributbibliotheken durchzuführen.

3. Die Parameterzuweisung soll bauteilbezogen erfolgen.
Die Struktur der Attributbibliotheken folgt der Bauteilstruktur des Modells. Alle einem IFC Objekttyp zuzuweisenden Attribute werden unter dem jeweiligen Bauteiltyp zusammengefasst.
4. Die Parameterzuweisung erfolgt unter Verwendung von „Default“-Werten für alle Elemente des jeweiligen Typs.
Der Parameter SOC2.1_Wassertemperatur“ wird beispielsweise allen Waschbeckenelementen des Bauwerks mit dem „Default“-Wert 40°C zugewiesen. Alle Elemente die vom Vorgabewert abweichen, sind händisch nachzupflegen.

Anlegen von Attributgruppen

Das Anlegen der Attributgruppen erfolgt dabei softwareunabhängig als Baumstruktur zentral auf dem Server des Planungsbüros. Die Vorgehensweise hat sich bei der praktischen Umsetzung der Modellanreicherung als übersichtlich und effizient erwiesen. Die Parameterverwaltung erfolgte zentral und die Bearbeitung des Projektes mit mehreren Mitarbeitern war zu jedem Zeitpunkt möglich.

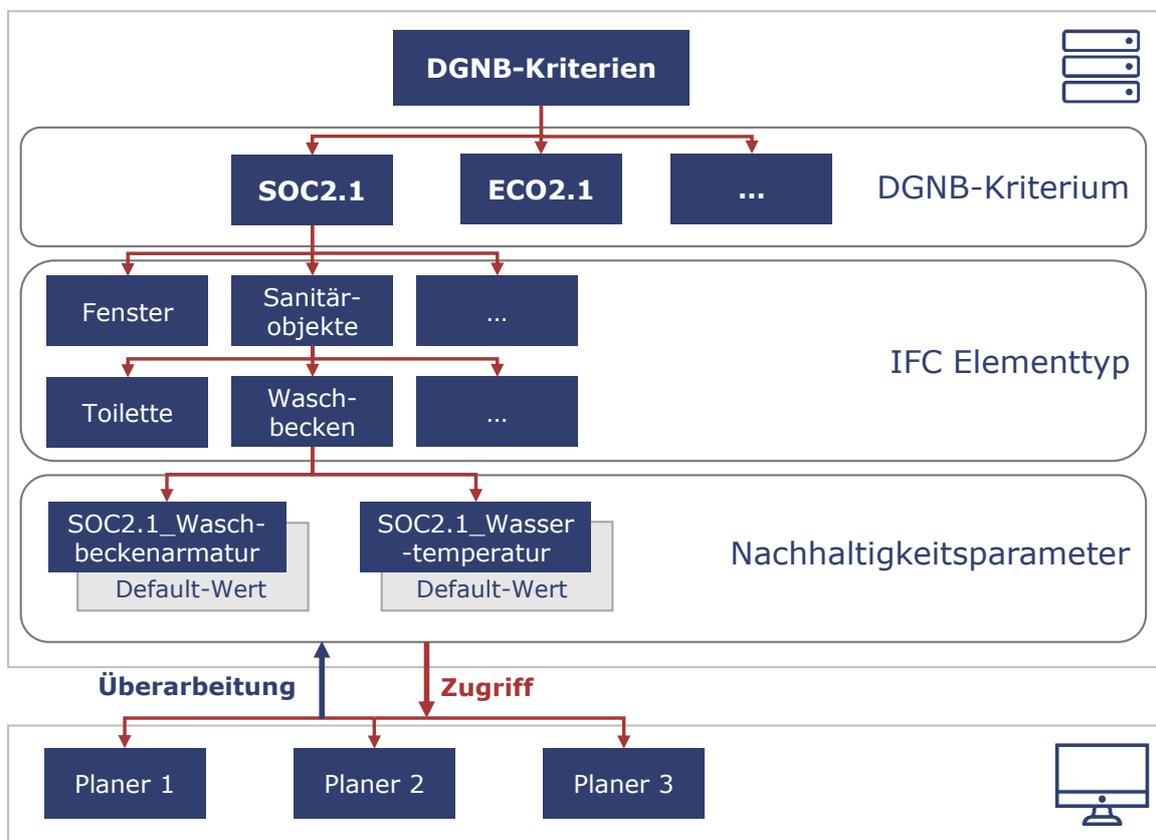


Abbildung 40: Struktur der Nachhaltigkeitsparameter auf einem zentralen Firmenserver (Eigene Darstellung)

Die praktische Umsetzung der Nachhaltigkeitsattribuierung ist für das Pilotprojekt mit der nativen Modellierungssoftware Allplan Architecture 2019 erfolgt. Die Implementierung der Nachhaltigkeitsparameter für die Kriterien ECO2.1 und SOC2.1 nach der in Abbildung 40 dargestellten Struktur, erfolgt unter Anwendung von benutzerdefinierten Attributgruppen. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden alle Nachhaltigkeitsparameter auf diese Weise zentralisiert verwaltet. Hier wurde eine kriterienbezogene Struktur verwendet. Beispielhaft wird der Modellcontent für den Elementtyp „Raum“ dabei innerhalb jedes Kriteriums abgebildet und nicht gesamthaft für alle Kriterien. Dies fördert die Übersichtlichkeit bei der aktuell händisch durchzuführenden Parameterzuweisung. Die in der nativen Planungssoftware umgesetzte Parameterstruktur ist in Abbildung 41 dargestellt.

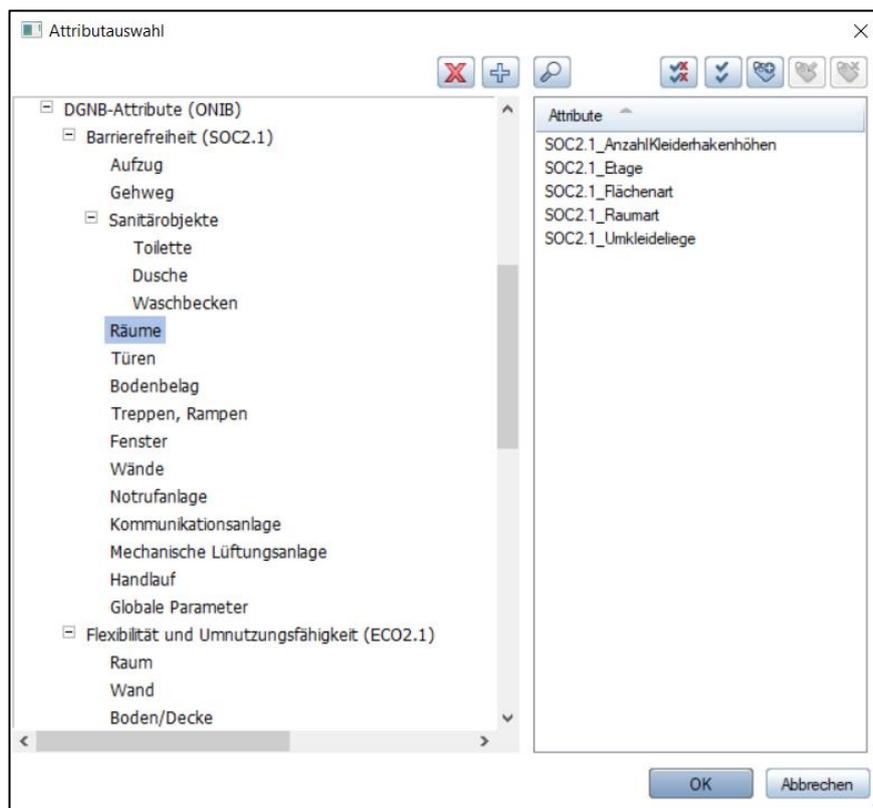


Abbildung 41: Parameterstruktur in Allplan Architecture 2019

Zum Anlegen der Attributstruktur ist den Vorgaben der Attribuierungsmatrix des jeweiligen Kriteriums zu folgen. Alle für die Erstellung einzelner Attribute notwendige Informationen sind in den Matrizen hinterlegt. Durch die Anwendung von Elementfiltern oder Bauteillisten lassen sich die angelegten Attributgruppen den entsprechenden IFC Elementtypen zugewiesen. Voraussetzung dafür ist die Vermeidung von *IfcBuildingElementProxys*. Diese allgemeingültigen Proxy-Klasse bietet die gleichen Funktionalitäten wie ein *IfcBuildingElement*, definiert jedoch nicht die Bedeutung des speziellen Typs von Bauelement, welches sie repräsentiert [24]. Die Klasse wird beim IFC-Export aus kommerziell genutzter Modellierungssoftware für die Repräsentation von Bauteilen genutzt, welche aktuell im IFC nicht semantisch definiert sind. Somit ist bei weiterer Verarbeitung der IFC-Daten, beispielsweise in einer Analysesoftware zur Über-

prüfung der Modellinhalte eine automatisierte Klassifizierung der Modellelemente nicht möglich. Da die Bauteilklassifizierungen für die modellgestützte Nachhaltigkeitsbewertung von elementarer Bedeutung sind, müssen diese händisch nachgearbeitet werden, sind also bei der Modellierung zu vermeiden.

Modellierungstiefen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden zwei Beispielkriterien gewählt, welche sich im Zuge einer Entwurfsplanung im Modell abbilden lassen. Der Ausarbeitungsgrad des Modells, das Level of Development (LOD), präzisiert sich mit fortgeschrittener Planungstiefe, sodass auch die geometrischen und semantischen Modellinformationen zum Planungsstand des Entwurfes nicht der Tiefe eines Ausführungsmodells entsprechen. Daher sind die LOD projektspezifisch in Abhängigkeit der Projektphasen zu definieren und in den AIA festzulegen. Zum derzeitigen Zeitpunkt ist eine verbindliche Normung bzw. Standardisierung in Deutschland nicht vorhanden, jedoch haben sich Entwicklungen aus den USA als Vorlagematerial für BIM-Projekte bewährt. Das BIMFORUM, US Chapter der buildingSMART International, definiert ein sechsstufiges Modell für die Beschreibung der LOD, welches eine vielfach angewandte formale Definition liefert [19]. Abbildung 42 stellt die LOD Stufen in Abhängigkeit der Planungsphase dar.

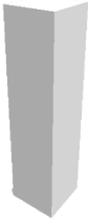
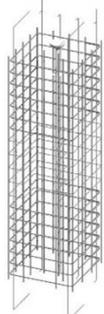
LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 350	LOD 400	LOD 500
Vorentwurf	Entwurfsplanung	Ausführungsplanung		Werk- und Montageplanung	AsBuilt
					

Abbildung 42: Beispielhafter LOD-Fortschritt an einer Stahlbeton-Stütze [19]

Die Definition der LOD ergeben sich aus den bautechnischen Anforderungen der Planungsphasen des Projekts und dienen als Minimalstandards für Modelldaten. Die Informationsanforderungen einzelner Vorgaben aus den Nachhaltigkeitskriterien kollidieren folglich unweigerlich mit der in der Leistungsphase 3 – Entwurfsplanung vorliegenden Modelltiefe. Beispielhaft ist die vollumfängliche Abbildung aller Ausstattungsgegenstände der Sanitäreinrichtungen in dieser frühen Phase der Planung nicht zu erbringen. Die Abbildung von spezifischen Kennwerten einzelner Ausrüstungsgegenstände wird durch die Attribuierungsmatrix des Forschungsprojektes dem verbündeten Element zugewiesen. Beispielsweise wird eine Sanitärarmatur in der IFC-Datenstruktur als Property Set *IfcSanitaryTerminalTypeEnum – SANITARYFOUNTAIN* abgebildet, jedoch ist eine objektorientierte Modellierung im Rahmen der Entwurfsplanung nicht gefordert.

Die Informationen über die Wassertemperatur der Sanitärarmatur werden folglich dem Waschbeckenelement zugewiesen. Tabelle 8 stellt die Anteile der Parameter dar, welche direkt auf das IFC-Element bezogen sind.

Tabelle 8: Anzahl der direkten und indirekten Elementattribute je Kriterium

Kriterium	Anzahl Attribute	Direkte Attribute	[%]	Indirekte Attribute	[%]
SOC2.1	110	81	73,64	29	26,36
ECO2.1	16	15	93,75	1	6,25

Für das Kriterium „SOC2.1 Barrierefreiheit“ sind 29 der 110 Attribute nicht direkt aus die zugeordnete IFC-Elementklasse bezogen, sondern stellen Anforderungen an z.B. Ausrüstungs- und Zubehörgegenstände (Seifenspender, Toilettenpapierhalter) dar, welche im Rahmen der Modellierungstiefe nicht abgebildet wurden.

Die Erstellung von Attribuierungsmatrizen, welche sich durch die Informationstiefen den Projektphasen anpassen, oder alternative Anforderungsabbildungen durch Modellcontent je Leistungsphase sind hier denkbar. Die Notwendigkeit standardisierter Attribuierungsmatrizen wird im Kapitel 3.6 diskutiert.

Globale Parameter

Aus den Anforderungen der Nachhaltigkeitskriterien ergeben sich eine Reihe von Informationen, welche nicht direkt einem Bauteil zugewiesen, bzw. durch geometrische Abfragen überprüft werden können. Beispielsweise ist zur vollumfänglichen Abbildung der Barrierefreiheit die Gebäudenutzungsart des Bauwerkes als Anforderung anzugeben. Diese globalen Informationen wurden im Rahmen des Forschungsprojektes bewusst einem *IfcBuildingElementProxy* – Körper zugewiesen, welcher alle globalen Projektparameter beinhaltet. Dieser ist im BAP zu definieren, sodass alle Projektbeteiligten auf die Information zugreifen können.

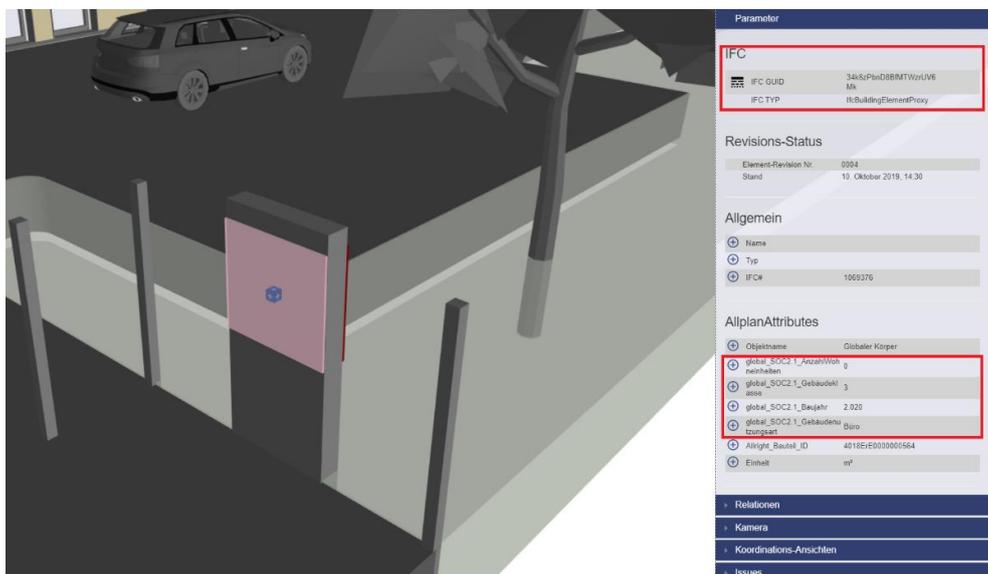


Abbildung 43: Abbildung globaler Parameter im Modell (Eigene Darstellung)

Innerhalb der Modellprüfsoftware ist das Element aufgrund der fehlenden Klassifizierung leicht zu identifizieren. Der Zugriff auf die globalen Nachhaltigkeitsanforderungen im Projektkontext kann so analog zu den regulären Bauteilattributen erfolgen.

Automatisierungspotential der Attribuierungsmatrizen

Durch die Verwendung einer konsistenten Namenkonvention ist eine (teil-)automatisierte Umsetzung der Attribuierungsmatrizen in Modellcontent möglich. Durch den objektorientierten Aufbau des BIM-Modells, ist eine Zuweisung der Parameter zu den im Modell vorhandenen Objektklassen möglich. Dafür ist eine zentrale Speicherung der Informationsanforderungen aus dem Matrizen als *comma-separated values* (CSV) oder *Structured Query Language* (SQL) Datenbank notwendig. Die Informationsdichte der Attribuierungsmatrix kann dabei auf folgende Bereiche reduziert werden (Vgl. Tabelle 7):

- Parametername (z.B. SOC2.1_Aufzugtyp)
- IFC Elementtyp (*IFCTransportationElement*)
- Teilmodell (TGA)
- Datentyp (List<Integer>)
- Wertebereich ([1;2;3;4;5])
- „Default“-Wert („2“)

Via Schnittstellen Plug-In ist der Zugriff auf die zentrale Datenbank aus der nativen Modellierungssoftware möglich. Über einen Zuweisungsalgorithmus lassen sich Bauteilparameter an die in den Matrizen definierten Elementtypen platzieren. Eine manuelle Nacharbeit ist bei Abweichung der Bauteileigenschaften von den definierten „Default“-Werten notwendig. Grundlage für die Implementierung solcher Schnittstellen Plug-Ins sind standardisierte Darstellungen der Informationsanforderungen.

Qualitätssicherung des attribuierten Modells

Das vollständig attribuierte Bauwerksmodell wurde zum Upload in das Common Data Environment „Squirrel“ mit allen dem Modell anhängigen Attributsätzen exportiert. Dafür wurde vom Projektteam das Format IFC 4 in den AIA festgelegt um die aktuell neueste Version des offenen Datenaustauschformates zu verwenden. Durch den Fachplaner Architektur wird das Modell im offenen Austauschformat IFC in das CDE geladen und auf den Status „Überprüfung“ gesetzt. Dadurch wird die Qualitätssicherung beim BIM-Koordinator eingefordert. Dieser kann durch den Download der aktuellsten Modellrevision eine Überprüfung der Modellattribuierung auf Vollständigkeit gemäß Attribuierungsmatrix durchführen. Die dabei auftretenden Fehler werden via BCF-Issue an den zuständigen Fachplaner zur Modellanpassung überspielt.

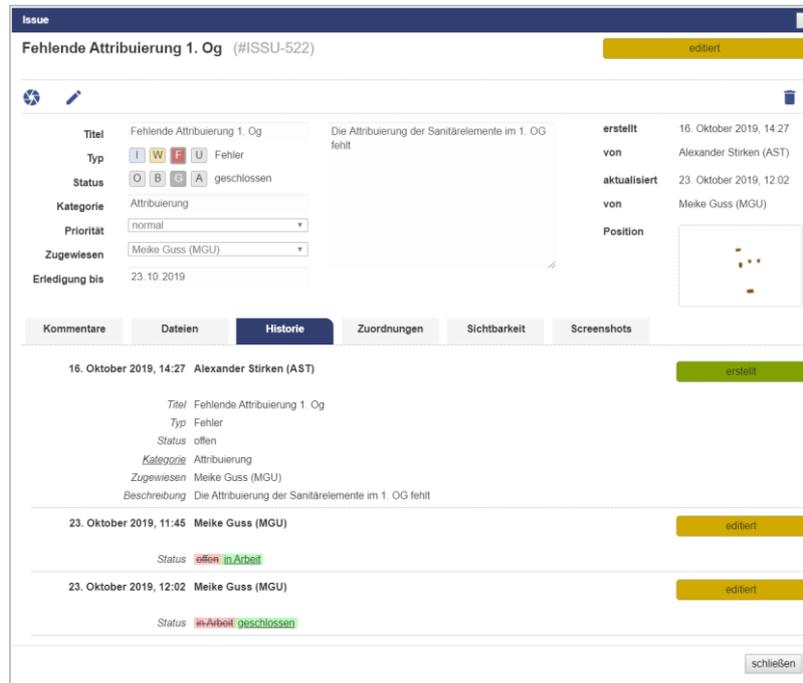


Abbildung 44: BCF-Issue Modellattribuierung Software Squirrel (Eigene Darstellung)

Die Überprüfung des Modells auf Vollständigkeit der Nachhaltigkeitsattribute kann dabei visuell oder durch Unterstützung einer Modelchecker Software erfolgen. Durch die konsistente Parameterbenennung und die Festlegungen in den Attribuierungsmatrizen besteht auch hier ein hohes Potential für eine effiziente Automatisierung der Qualitätsprüfung des Modells in Hinblick auf die Nachhaltigkeitsattribute. Abbildung 45 stellt eine Regelprüfung für das Vorhandensein der Nachhaltigkeitsparameter für die WC-Anlagen im Modell dar. Durch Vorbedingungen kann das gesamte Modell über den IFC-Elementtyp vorgefiltert werden, sodass Attributregeln gezielt auf automatisch ermittelte Elemente ausgeführt werden.

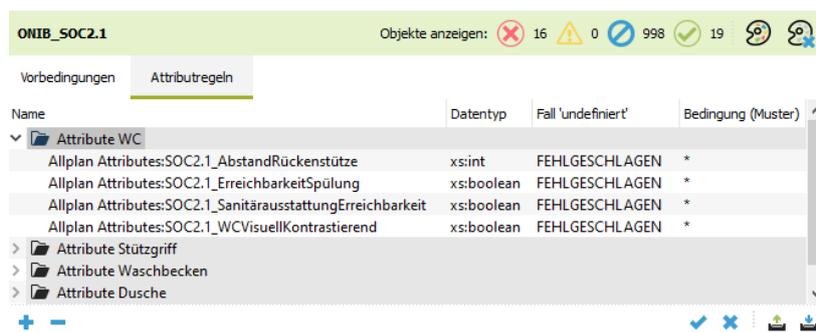


Abbildung 45: Attributprüfung in der Modelchecker Software Desite MD (Eigene Darstellung)

Die Regeln sind nach Erstellung für weitere Projekte wiederverwendbar, vorausgesetzt die Modellierung und Attribuierung folgt den in den AIA und den Attribuierungsmatrizen festgeschriebenen Konventionen. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden sämtliche Parameter innerhalb des IFC-Exportes unter der Attributgruppe „Allplan Attributes“ platziert. Dieses Vorgehen sorgte im Pilotprojekt für eine starke Übersichtlichkeit bei Nachverfolgung und Überprüfung der Parameter, ist jedoch für die Anwendung in der Praxis nach dem openBIM-Ansatz

nicht zu empfehlen. Bei Erstellung von digitalen BIM-Modellen mit einer abweichenden Modellierungssoftware, lässt sich nicht auf das *PropertySet* (PSet) „*Allplan Attributes*“ zugreifen, bzw. Attribute dort platzieren. Die in Abbildung 45 dargestellte Regel, lässt sich nicht auf ein nativ different erstelltes Modell (beispielsweise mit Autodesk Revit o.Ä.) anwenden. Eine Platzierung der Attribute in einem allgemeingültigen IFC-*PropertySet* wie bspw. Das *IfcPropertySetCommon* jedes *IfcType* ist hier anzuraten und entsprechen in den AIA/BAP und Attribuierungsmatrizen festzuhalten.

Durch das offene BIM-Collaboration Format, können BCF-Issues in jeder Modelchecker Software erstellt und bauteilreferenziert in das Common Data Environment geladen werden. Dadurch wird die objektorientierte Bearbeitung von Planungsfehlern und Ungenauigkeiten, sowohl in Bezug auf Nachhaltigkeitsanforderungen als auch auf bautechnische Belange ermöglicht. Die Freischaltung zum Anlegen von BCF-Issues erfolgt dabei grundsätzlich für alle Projektbeteiligte, sodass sämtliche Nutzer des CDE Änderungs- und Überarbeitungsverläufe verfolgen und nachvollziehen können. Um die Übersichtlichkeit der Bearbeitungsstände sämtlicher offener BCF-Issues zu wahren, empfiehlt es sich innerhalb des Planungsteams interne Datadrop Zeitpunkte festzulegen, an denen die jeweils aktuellsten Fachmodelle in die CDE geladen werden. Befindet sich ein BCF-Issue in Bearbeitung wird es vom zuständigen Fachplaner zunächst auf den Status „in Arbeit“ gesetzt. Danach erfolgt der Upload des überarbeiteten Modells und alle in der Zwischenzeit behobenen Issues werden vom zuständigen Bearbeiter geschlossen. Dadurch wird ein übermäßiger Revisionsverlauf der Fachmodelle verhindert und eine Übersicht über die aktuellen BCF-Issues ist auch durch den BIM-Gesamtkoordinator möglich.

3.5.8. Nachweisführung und Modelchecking

Wie in Kapitel 3.5.2 dargestellt, wurde im Pilotprojekt für die gewählten Kriterien SOC2.1 „Barrierefreiheit“ und ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ der Ansatz gewählt, alle notwendigen Informationen zur Kriterienabbildung direkt durch geometrischen und semantischen Content im digitalen Bauwerksmodell vorzuhalten. Theoretisch ist dadurch die Zertifizierung beider Kriterien allein über das Modell möglich. Folgend sollen Möglichkeiten zur modellbasierten Nachweisführung von Nachhaltigkeitskriterien aufgezeigt und in Bezug auf ihre Praxistauglichkeit diskutiert werden.

Das digitale Gebäudemodell stellt durch die geometrische Repräsentation der Bauteilelemente, den Beziehungen der Elemente zueinander und die semantischen Informationen in Form von Bauteilparametern eine Fülle von Informationen zur Verfügung, welche für die Nachweisführung von Nachhaltigkeitskriterien genutzt werden können. Ein Großteil der Informationen wird dabei als „Nebenprodukt“ der bautechnischen Planung des Gebäudes erzeugt. Die können beispielsweise Beziehungs- und Vererbungsmechanismen sein, welche durch die Modellierung des Bauwerkes entstehend. Vorgegeben durch das IFC-Standard und aus diesem Grund von allen kommerziellen Modellierungsprogrammen umgesetzt, verfügt das Modell allein durch seine geometrische Repräsentation über eine Beziehungsintelligenz der Bauteile. Jede Tür ist einer Wand zugeordnet, welche zwei Räume oder einen Raum und den Außenbereich verbindet. Über die Basisklasse *IfcRelationship* und deren vererbten Subklassen, werden den Elementen bei der Modellierung automatisch Beziehungsobjekte zugewiesen. Für die (teil-)automatisierte Überprüfung von Nachhaltigkeitsanforderungen unterscheidet sich das BIM-Modell an dieser Stelle stark von 2D-Zeichnungen, da sich viele Anforderungen auf bestimmte Bereiche des Gebäudes, wie beispielsweise „Türen in Sanitärräumen“ oder „Notwendige Treppen vor Fluchtwegen“ beziehen. Diese Beziehungslogik wird durch das BIM-Modell indirekt zur Verfügung gestellt und kann durch weitere Parametrisierung geschärft werden.

Methoden der modellgestützten Nachhaltigkeitsprüfung

Grundlegend ergeben sich drei wesentliche Methoden zur Prüfung von Modellen. Dies bezieht sich nicht allein auf die Bewertung von Gebäudenachhaltigkeit, sondern kann auch für sämtliche weiteren Anforderungen an ein BIM-Modell adaptiert werden. Folgend werden die im Pilotprojekt verwendeten Methoden der Modellprüfung vorgestellt und Ihre Umsetzung in einer BIM-Prüfsoftware erläutert.

1. Parameterabfragen

Vorhandensein von Sanitärausstattung					
Erreichbarkeit Spülung					OK
Stützsitzklappbarkeit					OK

ERGEBNISÜBERSICHT					
Problemanzahl	0	0	0	0	0
Problemdichte	0	0	0	0	0

ERGEBNISSE

Ausgewählte Regel wurde bestanden.

ÜBERPRÜFTE KOMPONENTEN

- ⇒ Sanitäreinrichtung.-1.1
- ⇒ Sanitäreinrichtung.-1.6.1
- ⇒ Sanitäreinrichtung.-1.18.1
- ⇒ Sanitäreinrichtung.0.1
- ⇒ Sanitäreinrichtung.0.3

Durch die Anreicherung der Modellelemente mit semantischen Informationen in Form von Modellparametern, kann der Informationsgehalt des Modells an die Bedürfnisse der Projektphase angepasst werden. Sämtliche kommerziell verfügbare Modellierungssoftware ermöglicht das Anlegen von benutzerdefinierten Parametern, welche einer beliebigen Anzahl an Modellelementen zugewiesen werden können. Viele Modellierungsprogramme bieten zudem Funktionen zur effektiven Erstellung, Zuweisung und Verwaltung von Parameter, bzw. ermöglichen das Anheften von Parametern an Bauteile, welche zur Wiederverwendung in weiteren Projekten in zentralisierten Bauteilbibliotheken abgelegt werden können.

Die Parameter selbst können dabei über alle gängigen Datentypen definiert werden und durch Vorauswahl (Drop-Down) und Wertebereiche durch den Ersteller in Ihrem Wertebereich eingeschränkt werden. Je nach Datentyp wird zwischen geometrischen und semantischen Parametern unterschieden. Diese können folglich Abmessungen des Modells oder bauteilspezifische Informationen enthalten.

Die Methodik zur Abfrage von Eigenschaftssätzen und Bauteilparametern ist eine vielfach genutzte Methode zur Modellprüfung und ist in zahlreichen Modelchecker Programmen implementiert. Die Parameterabfragen lassen sich in 3 Kernbereiche aufteilen.

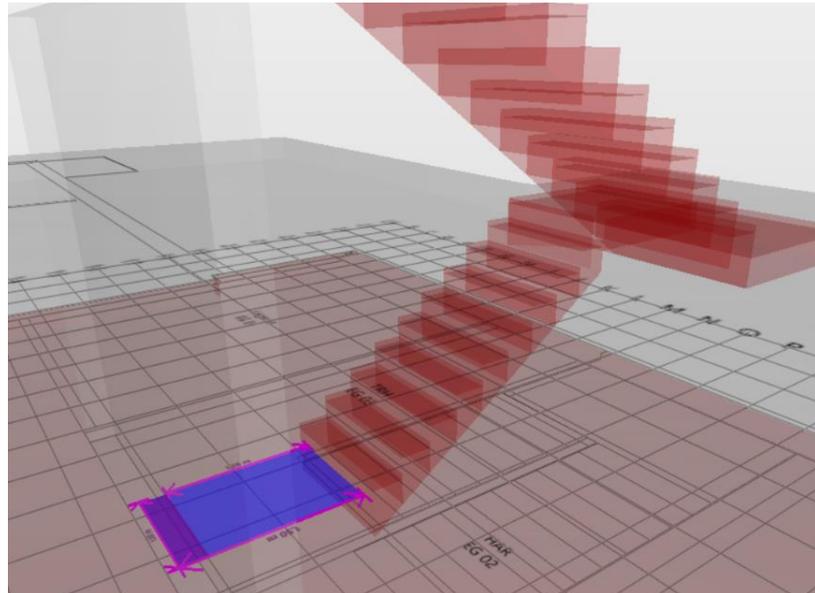
- Überprüfen des Vorhandenseins von Parametern
- Vergleich der Parameterwerte mit festen Vorgabewerten
- Vergleich von Parameterwerten untereinander

Zusätzlich können Parameterabfragen verschaltet in Analogie zu if-else-Abfragen erstellt werden, sodass Modellanforderungen mit mehreren beteiligten Parametern und/oder Bauteilen abgeprüft werden können.

Für die effektive Durchführung von Parameterabfragen sind die abzufragenden Elemente zu spezifizieren. Dies wird durch die Klassifizierung der Elemente erreicht. Beispielhaft werden alle WC-Elemente im Bauwerk der Klassifizierung „Sanitäranlagen – WC“ zugewiesen. Die Elementklassifizierung baut auf der Elementtyp-Definition des IFC-Prüfmodells auf. Elemente, welche nicht eindeutig in den IFC-Baum eingeordnet werden können, müssen händisch nachklassifiziert werden.

Für die Auswertung der Parameterabprüfungen können in gängigen Softwareprodukten für die Modellprüfung Schweregrade definiert werden, welche ein Maß für die Stärke des Problems darstellen. So lassen sich Fehler ausgeben, wenn Modellparameter nicht vorhanden sind, oder Warnungen, wenn diese die Vorgabewerte unter- oder überschreiten. Auf diese Weise können die schwerwiegenden Auswirkungen bei Nichterfüllung von Mindestanforderungen (z.B. Qualitätsstufe 1 SOC2.1 „Barrierefreiheit“) durch Definition von Schweregraden abgebildet werden.

2. Geometrische Prüfung

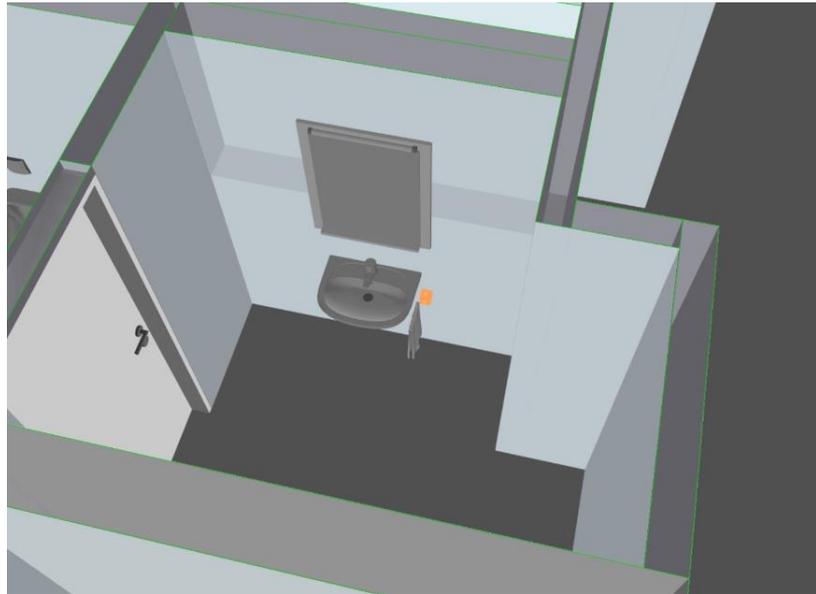


Das BIM-Modell stellt durch seine vollumfängliche geometrische Repräsentation des gesamten Bauwerks in allen drei Dimensionen die Grundlage für geometrische Prüfungen am Modell zur Verfügung. Diese können sowohl „händisch“ durch Messen im Modell erfolgen, als auch automatisiert per Modelchecker. Wie bei der Erstellung von Parameterabfragen, ist auch hier die korrekte Zuweisung der Elemente zur Ihrer Klassifizierung über das IFC-Datenformat nötig, damit die Prüfsoftware Bauteile automatisiert Ihren Klassen zuweisen kann und auf diese Weise regelbasierte geometrische Abfragen bei einer bestimmten Bauteilgruppe durchführen kann.

Geometrische Prüfungen können sowohl als Clash-Detection, also bei Überschneidung von Elementen, als auch als Vergleich geometrischer Repräsentationen umgesetzt werden. Dadurch können zum einen kollidierende Elemente im Bauwerk ermittelt werden, als auch Abstandsregeln zwischen Elementen aufgestellt werden.

Grundlage für die geometrischen Prüfungen innerhalb eines BIM-Modells sind die Bounding-Boxen der Elemente, also die orthogonalen Umfassungskörper, welche die maximale Ausbreitung des Elementes parallel zum definierten Objektkoordinatensystem in alle drei Dimensionen darstellen.

3. Visuelle Prüfung



Neben den Möglichkeiten zur automatisierten Auswertung des BIM-Modell durch Prüfsoftware ist des Weiteren die Möglichkeit einer visuellen Prüfung des Modells zu nennen. Unter Verwendung eines CDE, können die aktuellen Planungsstände zu jederzeit von allen Projektbeteiligten mit Lese-Berechtigung eingesehen werden. Die Navigation durch das Bauwerksmodell wird durch Werkzeuge zur temporären Schnitterzeugung und zum temporären Ausblenden von Elementen von den meisten Modellviewern unterstützt. Belange der Nachhaltigkeit können auf diese Weise zu jederzeit im aktuellen Koordinationsmodell innerhalb der CDE visuell geprüft werden. Planungshinweise des Nachhaltigkeitsauditors können zu frühzeitigen Planungsständen an die jeweils zuständigen BIM-Fachkoordinatoren bzw. Fachplaner überspielt werden.

Modellgestützte Regelprüfungen

Wie in Kapitel 3.5.3 beschrieben wurde für dieses Forschungsprojekt der Ansatz gewählt, die betrachteten Nachhaltigkeitskriterien vollumfänglich über das Modell abzubilden, um eine (teil)automatisierte Abprüfung dieser allein über die Modellinformationen möglich zu machen. Dadurch müssen keine weiteren Informationsquellen referenziert werden. Die Anwendung einer solchen Methodik ist für die hier untersuchten Kriterien sinnvoll, da keine externen Bauteil- und/oder Materialinformationen für die Auswertung nötig sind.

Ausgehend von den verwendeten Attribuierungsmatrizen sollten die Anforderungen der Nachhaltigkeitskriterien nach vollständiger Parametrisierung des Modells in einer Modellchecker-Software abgeprüft werden. Dazu wird die aktuellste Modellrevision aus der CDE heruntergeladen und in die Modellchecker-Software eingeladen. Zur Veranschaulichung des methodischen Vorgehens der Modellprüfung wurde die Software Solibri Model Checker in der Version 9.9 verwendet.

Nach Import des Modells übernimmt die Software die Klassifizierung der Bauteile analog zu den IFC-Elementtypen. Bauteile, welche in der Modellierungssoftware keinem IFC-Elementtypen eindeutig zugewiesen werden konnten, können durch Filterung von Elementdaten wie bei-

spielsweise der Benennung händisch nachklassifiziert werden. Im Rahmen des Forschungsprojektes mussten insbesondere Sonderelemente der Sanitärausstattung wie Stützgriffe für ein behindertengerechtes WC nachklassifiziert werden. Klassifizierungseinstellungen können benutzerdefiniert gespeichert werden und so für weitere Projekte, welche nach den gleichen Modellierungsvorgaben erstellt wurden, wiederverwendet werden. Abbildung 46 stellt die für das Pilotprojekt verwendeten Klassifizierungseinstellungen dar.

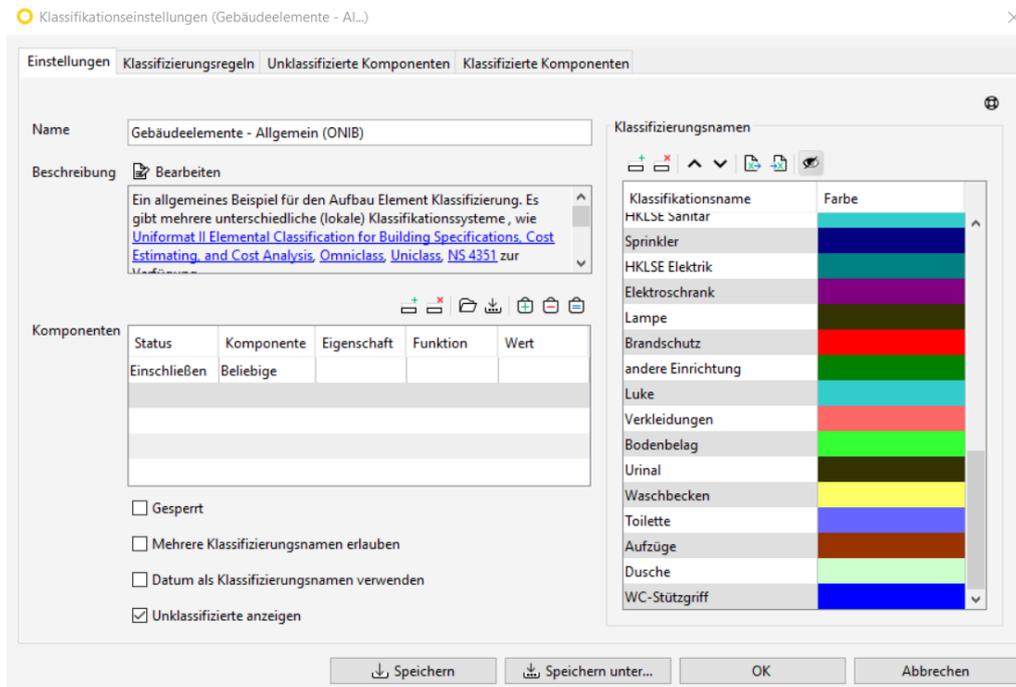


Abbildung 46: Klassifizierungseinstellung des Pilotprojektes im Solibri Model Checker V9.9 (Eigene Darstellung)

Wurde eine konsistente Klassifizierung für alle Modellelemente durchgeführt, welche alle Elementtypen der Attribuierungsmatrix darstellen, können vor- und selbstdefinierte Regelsätze auf die klassifizierte Elemente angewandt werden. Solibri bietet dafür die Möglichkeit zum Anlegen von *RuleSets* im Rule Set Manager des Programms. Hier können Regelsätze aus einzelnen Regeln zusammengefügt und benutzerdefiniert gespeichert werden. Dafür stehen eine Vielzahl an vordefinierten Regeln zur Verfügung, weitere Modellabfragen lassen sich jedoch auch benutzerspezifisch erstellen und speichern.

Für das Pilotprojekt wurde der Ansatz gewählt, die Anforderungen aus den Attribuierungsmatrizen welche sich durch die normativen Vorgaben der Nachhaltigkeitskriterien ergeben, direkt in eine Regelbaustruktur zu überführen, welche im Rule Set Manager als „[ONIB] Rule Set“ festgelegt wurde. Diese gliedert sich nach den abgebildeten Kriterien und den dazugehörigen Anforderungsfeldern, welche in gleicher Weise in der Attribuierungsmatrix abgebildet sind. Die Anforderungsfelder werden weiterhin in die gesetzlichen und normativen Vorgaben des Kriteriums untergliedert, welche wiederum die Regeln zur Überprüfung der parametrischen und geometrischen Anforderungen an das Modell enthalten (Vgl. Abbildung 47).

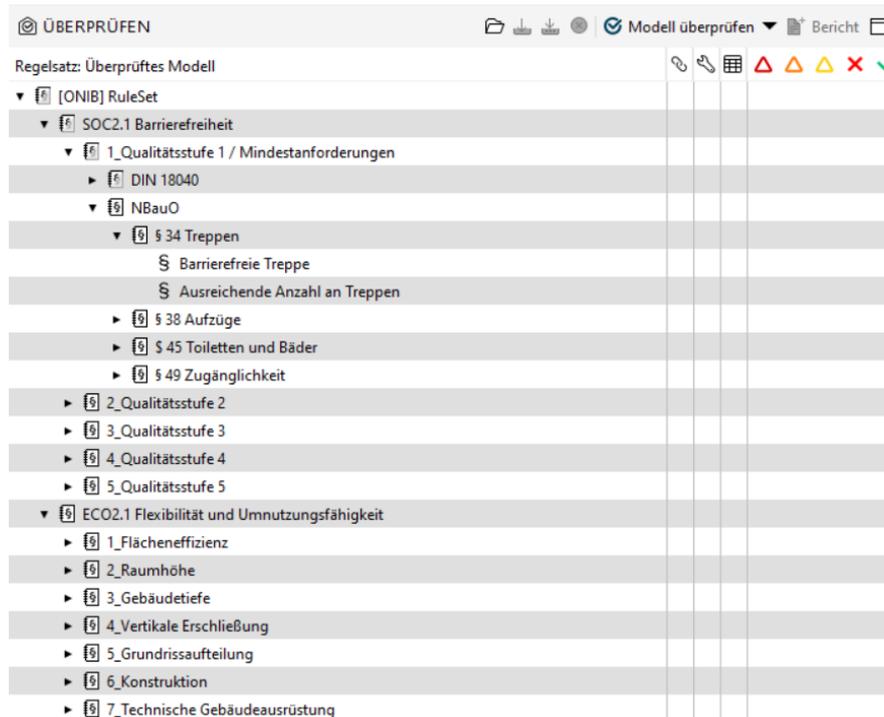


Abbildung 47: Baumstruktur des [ONIB] Rule Set im Solibri Model Checker (Eigene Darstellung)

Solibri stellt über den Rule Set Manager eine Vielzahl an vordefinierten Regeln zur Verfügung, welche in das personalisierte *Ruleset* übernommen werden können. Durch Verwendung der Regel „Erforderliche Eigenschaftensätze“ können Modelleigenschaften abgerufen und ihre numerischen oder semantischen Werte mit Vorgaben aus der Regel verglichen werden. Allein mit dieser Regel lassen sich für das Kriterium SOC2.1 ca. 55% der Nachweisanforderungen abprüfen. Zusätzlich stellt der SMC über die *Solibri Accessibility Rules* eine Reihe von vorgefertigten Prüfalgorithmen zur Sicherstellung der Barrierefreiheit Räumen, Fenstern, Rampen, Türen, Wegen und Treppen zu Verfügung.

Unter Anwendung der vordefinierten Regeln und Erweiterung des Regelsatzes um selbst definierte Regeln lassen sich die Anforderungsfelder an die Barrierefreiheit des Kriteriums SOC2.1 theoretisch abbilden. Die Erstellung von selbst definierten Regeln für verschachtelte Anforderungen (z.B. NBauO §45 Toiletten und Bäder – „Toilettenräume und Räume mit Badewannen oder Duschen müssen wirksam gelüftet werden können“) ist äußerst aufwendig und kann an vielen Stellen nur durch Unterklassifizierung von Bauteilen abgebildet werden. Die Strukturierung der Regeln weicht dadurch von einer im Sinne des openBIM-Ansatzes allgemeingültig anwendbaren Regelkonvention ab und ist daher nur auf das aktuelle Projekt anwendbar.

Des Weiteren sind im Modelchecker Anforderungen an das Modell, wie durch die Mindestanforderungen der Qualitätsstufe 1 SOC2.1 gefordert, abbildbar, eine Auswertung der Modellinhalte hinsichtlich der Erreichung höherer Qualitätsstufen ist jedoch nicht praktikabel anwendbar. Benutzerdefinierte Auswertungen hinsichtlich der Anteile der barrierefrei zugänglichen Gebäudebereiche sind in der Modelchecker Software nicht implementiert. Selbiges Problem ergibt sich bei der Auswertung des Kriteriums ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“. Zwar kann der Modellinhalt der eingepflegten Parameter auf Vollständigkeit geprüft werden,

eine Auswertung der einzelnen Indikatorfelder wie der in Abbildung 35 dargestellte Prozess der „Flächeneffizienz“ ist in der Modelchecker Software aktuell nicht möglich.

Eine Überprüfung des Modellgehaltes und der normativen Mindestanforderungen ist folglich über eine Modelchecker Software sehr gut abbildbar, nachgelagerte mathematische Auswertungen und deren visuelle Darstellung sind jedoch nicht möglich.

Modellgestützte Auswertungen von Nachhaltigkeitsanforderungen

Da eine Auswertung und die visuelle Darstellung der Nachweisergebnisse in einer Modelchecker Software aktuell nicht praktikabel sind, wurde im Forschungsprojekt ein Ansatz für die modellgestützte Auswertung von Nachhaltigkeitsanforderungen untersucht. Aufgrund fehlender Softwareprodukte zur Auswertung und Darstellung von modellgestützten Nachhaltigkeitsauswertungen, wurde die Methodik der automatisierten Ermittlung von erreichten Qualitätsstufen bzw. Checklistenpunkten in einer nativen Modellierungssoftware unter Anwendung eines visuellen Programmieraufsatzes untersucht. Dazu wurde ein Beispielprojekt in der nativen Planungssoftware Autodesk Revit 2019 erstellt und mit den Informationsanforderungen der Attribuierungsmatrizen angereichert. Unter Verwendung der visuellen Programmierumgebung Dynamo 1.2.1 wurde der Modellcontent in Bezug auf die Indikatorfelder des Kriteriums ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ ausgewertet. Grundlage für den prozessualen Ablauf und die Implementierung in die die visuelle Programmierumgebung waren die in Kapitel 3.5.5 dargestellten Prozessdiagramme. Die Ergebnisse der Auswertung (z.B. die Berechnung der Flächeneffizienz und die daraus resultierenden erreichten Checklistenpunkte wurden anschließend als Modellparameter in die native Software zurückgeschrieben. Abbildung 48 stellt des logischen Ablauf der Modellauswertung in der visuellen Programmierumgebung Dynamo als Add-In für die native Software Revit und als Prozessdiagramm dar.

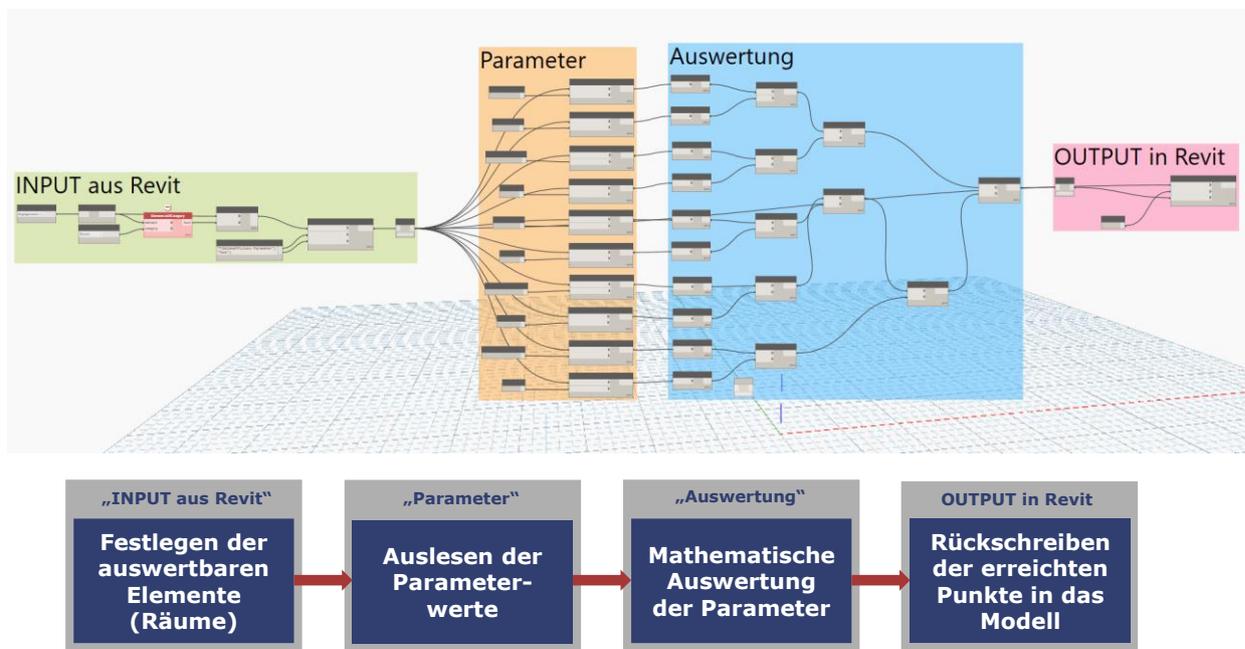


Abbildung 48: Modellauswertung ECO2.1 in Dynamo und als Prozessmodell (Eigene Darstellung)

Die Darstellung der Auswertung erfolge durch die Anwendung von Bauteillisten, in welchen die errechneten Parameterwerte für alle betrachteten Bauteile (in diesem Fall Räume) und das gesamte Gebäude dargestellt werden konnten.

<Raumliste ECO2.1 Auswertung aller Räume>													
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Bewertungspunkt	CLP Gesamt	Ebene	Nr.	CLP Flächeneffizi	CLP Raumhöhe	CLP Gebäudetiefe	CLP Vertikale Ersc	CLP Grundrissauf	CLP Konstruktion	CLP Lüftung/Klim	CLP Kühlung	CLP Heizung	CLP Wasser
5	84	Regelgeschoss	48	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	49	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	50	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	51	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	52	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	53	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	54	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	55	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	56	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	57	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	58	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	59	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	60	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	61	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	62	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	63	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	64	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	65	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	66	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	67	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	68	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10
5	84	Regelgeschoss	69	9	0	5	10	10	10	10	10	10	10

Abbildung 49 Darstellung der Auswertungsergebnisse als Bauteilliste in Revit (Eigene Darstellung)

Unter zugrunde legen der Anreicherung des Modellcontents mit den in den Attribuierungsmatrizen festgelegten Informationsanforderungen, ist die Auswertung des Modells zur Abbildung die erreichten Checklistenpunkte möglich. Grundlage hierfür ist wie bei den regelgestützten Modellprüfungen die Einhaltung der Konventionen aus der Attribuierungsmatrix. Wird das Modell mit den Informationen aus der Matrix je Kriterium angereichert, sind modellbasierte Auswertungen möglich. Die praktikable Anwendung von visuellen Programmierungstools oder Add-Ins innerhalb der nativen Modellierungsumgebungen ist für die Nachhaltigkeitsabbildung im Sinne des openBIM-Ansatzes nicht zielführend, belegt jedoch die Datentechnische Machbarkeit von Modellauswertungen. Grundlage hierfür ist Vereinheitlichung von Namenkonventionen und datentechnischer Beschreibung der Informationsanforderungen des Modells in den Attribuierungsmatrizen. Die Implementierung der in den Abbildung 48 dargestellten Modellauswertung in eine Modelchecker Software oder in eine CDE-Umgebung zur allgemeingültigen Auswertung von IFC-Modellen, ist unter Annahme einer standardisierten Attribuierungsmatrix für das jeweilige Kriterium folglich reiner Programmieraufwand.

3.6. Erkenntnisse aus dem Pilotbetrieb

3.6.1. Umsetzung des BIM-Sollprozesses

Im Pilotbetrieb des Forschungsprojektes wurde der in einem Simulationsworkshop validierte BIM-Sollprozess praktisch an einem Beispielprojekt angewandt. Durch Bereitstellung einer CDE-Plattform als gemeinsame Projektplattform und der Umsetzung des BIM-Rollenkonzeptes in Form eines Berechtigungskonzeptes wurden alle Projektbeteiligten in den Umsetzungsprozess der Nachhaltigkeitsabbildung im BIM-Modell integriert. Dafür war die sichere Anwendung der Navigationstools der Plattform bei allen Beteiligten notwendig. Das CDE kann dabei zu jederzeit als Grundlage für Abstimmungen und Diskussionen in Hinblick auf die Nachhaltigkeitszertifizierung genutzt werden. Der Mehrwert der Verwendung einer CDE im Zertifizierungsprozess entsteht durch die Integration des Nachhaltigkeitsauditors in den fortschreitenden Planungsprozess in einer frühen Projektphase. Zusätzlich kann der im konventionellen Prozess analysierte Informationsverlust durch den Wechsel von Fachplanern zwischen den Leistungsphasen des Projekts durch die zentrale Informationsverwaltung innerhalb des CDE vorgebeugt werden.

Durch die Prüfung der geometrischen und semantischen Modellinhalte können unabhängig der Leistungsphase eine Vielzahl von Planungsfehlern zu einem frühen Zeitpunkt im Projekt erkannt und durch die Nutzung von BCF-Issues über die gemeinsame Modellgrundlage in der CDE kommuniziert und im Folgenden angepasst werden. Besonders hervorzuheben sind Planungsbelange, welche für die Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien berücksichtigt werden müssen, jedoch vom zuständigen Fachplaner, ins besondere von unerfahrenen Fachplanern im Bereich der Gebäudezertifizierung, nicht direkt erkannt werden. Durch die Erstellung von BCF-Issues sind sowohl die visuelle Darstellung, als auch die Zuständigkeiten bei Problemstellungen klar definiert. Bei Übergabe von Planungsständen in fortlaufende Leistungsphasen können Bearbeitungsverläufe und Problemstellungen durch den Revisionsverlauf des Modells und die BCF-Dokumentation eingesehen werden. Die Rollenbeschreibungen des Nachhaltigkeitszertifizierenden und der weiteren Projektbeteiligten ist zwingend in den AIA und im BAP festzuschreiben, welche allen Beteiligten zur Verfügung stehen. Die in Kapitel 3.4.5 und 3.4.6 definierten Inhalte der AIA und des BAP bilden dabei die Grundlage für ein einheitliches Nachhaltigkeitsverständnis bei allen Projektbeteiligten.

Die Ergebnisse des Pilotbetriebes zeigen, dass die Kernthemen der konventionellen Prozessoptimierung zur Verbesserung der Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten und die zentrale Datenhaltung durch Verwendung eines CDE signifikant verbessert werden können (vgl. Kapitel 2.3.1).

Die Implementierung des BIM-Sollprozesses im Pilotprojekt zeigt, dass die Subprozesse der Informationsanreicherung und Modellprüfung für die erfolgreiche Umsetzung des Gesamtprozesses wesentlich sind.

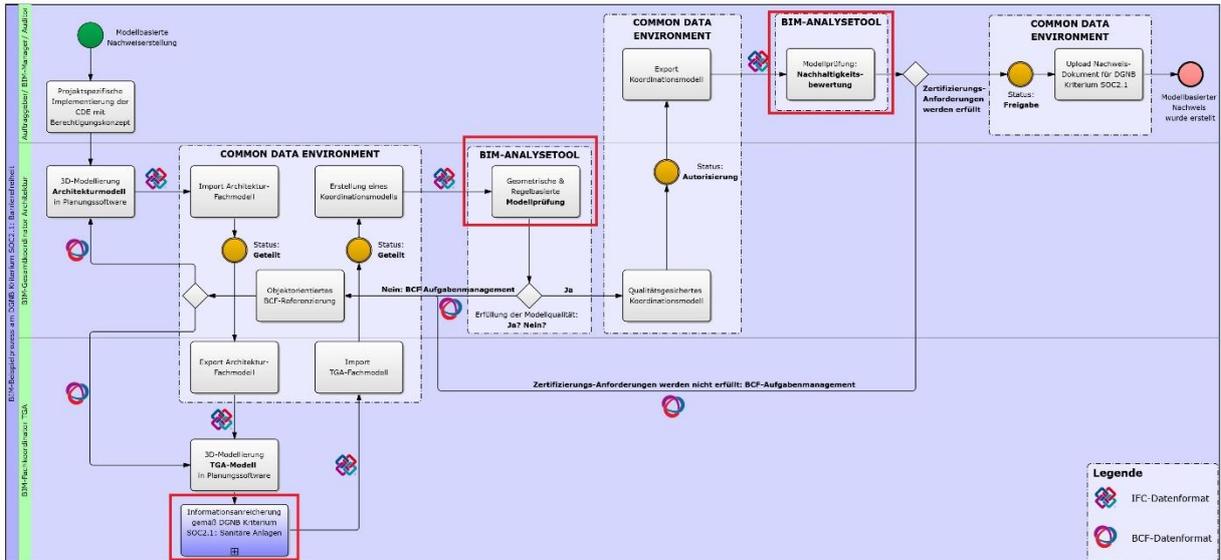


Abbildung 50: Entscheidende Subprozesse im BIM-Sollprozess (Eigene Darstellung)

Neben dem kollaborativen Ansatz der CDE und Integration des DGNB-Auditor in den Planungsprozess ist ein Effizienzgewinn bei der Nachhaltigkeitsbewertung, vor allem auf Seiten der Fachplaner, durch die automatisierte Modellprüfung festzuhalten. Die gesetzlichen Anforderungen der Nachhaltigkeitskriterien sind allein für das Kriterium SOC2.1 Barrierefreiheit umfangreich. Die automatisierten Modellprüfungen kann bei den ausführenden Fachplanern als Hilfestellung für die konsistente und normgerechte Fachplanung dienen. Grundlage dafür ist eine logisch und übersichtlich aufgebaute Attribuierungsmatrix für das jeweilige Kriterium.

3.6.2. Verwendung von Attribuierungsmatrizen

Für das Forschungsprojekt wurden die Anforderungen der abgebildeten Kriterien SOC2.1 „Barrierefreiheit“ und ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ in Prozessmodelle überführt. Ausgehend von diesen Prozessmodellen wurden Attribuierungsmatrizen in Form von Excel-Tabellen erstellt, welche die Informationsanforderungen an das Modell durch Darstellung der Nachhaltigkeitskriterien beschreiben. Für jedes Kriterium welches im BIM-Modell abgebildet und geprüft werden soll, müssen die Informationsanforderungen zwingend in einer Attribuierungsmatrix definiert werden.

Für das Pilotprojekt wurde der Ansatz gewählt, alle notwendigen Informationen vollumfänglich im Modell abzubilden, um eine weitere Erschwernis des Prozesses durch Schnittstellenbeschreibungen zu weiteren Datensystemen zu vermeiden.

Die Erstellung der Attribuierungsmatrizen hat sich dabei als zeitaufwendiger Prozess dargestellt. Nach Erkenntnissen aus dem Forschungsprojekt setzt die Aufstellung der Matrizen fundierte Kenntnisse in der Zertifizierungsmethodik („Was soll geprüft werden?“) und in den im BIM-Modell tatsächlich abbildbaren Datenstrukturen („Wie soll geprüft werden?“) voraus. Zur Vermeidung der laufenden Anpassung von Attribuierungsmatrizen ist zusätzlichen Know-how im Bereich der Möglichkeiten zur automatisierten Modellprüfung notwendig. Für viele Anforderungsfelder aus den gesetzlichen Mindestanforderungen ergibt sich eine teils unverhältnismä-

ßige Anzahl an Parametern für einzelne Bauteile. Anforderungen wie beispielsweise: „Ein Einhandseifenspender muss über dem Waschtisch im Greifbereich auch mit eingeschränkter Handfunktion benutzbar sein“ aus der DIN18040 – Sanitärräume [23], können nur über ein Modellparameter dargestellt werden, welches dem Waschtisch als Datentyp *Boolean* zugewiesen wird. Anforderungen wie diese führen zu einer hohen Parameteranzahl mit verhältnismäßig geringer Aussagekraft, welche dem Modell zur automatisierten Prüfung der Mindestanforderung zugewiesen werden müssen.

Weiterhin können die Modellanforderungen der Attribuierungsmatrizen in Abhängigkeit der bearbeiteten Leistungsphase und der damit verbundenen Modellierungstiefe unterschiedlich im Modell abgebildet werden. Beispielsweise sind Stützgriffe für behindertengerechte WCs in der LPH 3 zumeist nicht dargestellt. Anforderungen die sich auf die Stützgriffe beziehen, müssen folglich dem WC als Parameter angeheftet werden. Mit dem Fortschreiten der Gebäudeplanung in eine spätere Leistungsphase erhöht sich gemäß LOD-Konzept die Detailgenauigkeit im Modell. Anforderungen an die Stützgriffe können folglich direkt an das Modellelement gestellt werden. Eine Einordnung der Modellinformationen in die Leistungsphasen des Projektes ist folglich zusätzlich nötig.

Der hohe Aufwand zur Erstellung der Attribuierungsmatrizen in Verknüpfung mit der Erstellung von Regelsätzen zur Modellprüfung, welche den Konventionen der Matrizen folgen müssen, wirft die Frage der Zuständigkeit der Erstellung der Matrizen auf. Durch die Komplexität ist eine projektspezifische Erstellung im Sinne eines Aufwands/Nutzen-Vergleich nicht tragbar. Bei Verfolgung des openBIM-Ansatzes ist eine Standardisierung des Modellcontents für Nachhaltigkeitskriterien anzustreben, da die projektspezifische Erstellung keine praktikable Lösung darstellt. Dies soll weiterführend in Kapitel 4 diskutiert werden.

3.6.3. Modellgestützte Nachhaltigkeitsauswertung

Die Verknüpfung der BIM-Methodik mit Nachhaltigkeitsanforderungen ermöglicht die modellgestützte Nachhaltigkeitsauswertung. Die Methoden zur Überprüfung des Modellcontents wurden in Kapitel 3.5.8 dargestellt. Unter Festlegung von Namenskonventionen und der Platzierung des Modellcontents in der IFC-Datenstruktur ist die Abbildung des gesamten Informationsbedarfs zum Nachweis der Nachhaltigkeitskriterien modellgestützt darstellbar. Insbesondere die regelbasierte Prüfung von geometrischen Anforderungen ist als effizient und performant zu bewerten. Es ist eine Wiederverwendung der Modellelement-Klassifizierung und der definierten Regelsätze anzustreben, um einheitliche und valide Prüfalgorithmen zur Verfügung zu stellen. Grundlage für die Wiederverwendung angelegter Regelsätze bildet wiederum die einheitliche Konvention der Attribuierungsmatrizen, welche den Stellenwert der Matrizen unterstreicht.

Für die Ersteller der Nachweisdokumente ist die Verwendung der Modellprüfungen zum aktuellen Stand bedingt praktikabel. Die automatisierte Überprüfung von semantischen und geometrischen Mindestanforderungen ist möglich, und durch die Zuweisung der definierten Schweregrade können Modelle effizient auf Fehlerhaftigkeit geprüft werden. Jedoch fehlen aktuell Möglichkeiten zur visuellen Aufbereitung der Ergebnisse von Modellauswertungen hinsichtlich erreichter Checklistenpunkte. Die Ergebnisse der durchgeführten Regelsätze müssen

„händisch“ gefiltert und in die eingereichten Nachweisdokumente eingefügt werden. Des Weiteren ist zur Anwendung von Regelsätzen, aufgrund von fehlender Standardisierung und Automatisierung, aktuell ein fundiertes Verständnis für die Modellprüfung, sowie die entsprechenden Softwarelizenzen der BIM-Analysertools erforderlich. Dieses Spezialwissen kann weder beim Nachhaltigkeitszertifizierenden noch beim Fachplaner aktuell vorausgesetzt werden. Der Übertrag dieser Aufgaben an den BIM-Gesamtkoordinator ist aufgrund des hier naturgemäß fehlenden Verständnisses des Zertifizierungsprozesses nicht zielführend. Bei standardisierter Anwendung der BIM-Methodik im Zertifizierungsprozess, ist eine Personalunion von BIM-Manager und Nachhaltigkeitsauditor denkbar. Unter Anwendung der modellgestützten Möglichkeiten zur Auswertung von digitalen Gebäudemodellen kann der Aufwand der Zertifikatserstellung durch den Auditor gesenkt werden. Die sichere Anwendung digitaler Methoden ist dafür eine Grundvoraussetzung.

Insgesamt können die aktuell verfügbaren Softwareprodukte folglich nur einen Teilaspekt des Gesamtprozesses zur Umsetzung von Nachhaltigkeitsanforderungen in BIM-Projekten leisten. Die Vereinheitlichung des BIM-Sollprozesses durch Standardisierung von Modellcontent und Prüfvorgaben wird in Kapitel 4 diskutiert.

4. Ausblick

Die praktikable Umsetzung zur Implementierung von Nachhaltigkeitsanforderungen in digitale Gebäudemodelle zur modellgestützten Auswertung von Zertifizierungsvorgaben ist im Rahmen des openBIM-Ansatzes von einer Vielzahl an Variablen abhängig. Im Rahmen des Forschungsprojektes hat sich die prozessuale Analyse der Nachhaltigkeitskriterien und deren Übersetzung in auswertbaren Modellcontent als Grundlage für die Implementierung von Zertifizierungsverfahren in die Methode BIM herausgestellt. Eine praktikable Umsetzung von Nachhaltigkeitskriterien in den Planungsphasen von Hochbauten unter Berücksichtigung eines openBIM-Ansatzes ist zum aktuellen Stand der technischen Möglichkeiten an verschiedene Randbedingungen geknüpft. Das IFC-Datenformat bietet aktuell keinen einheitlichen Datencontainer zur Übergabe standardisierter Nachhaltigkeitsinformationen an. Weiterhin wurde die methodische und prozessuale Machbarkeit der modellgestützten Auswertung dargestellt. Aktuell können durch vorliegende Softwareprodukte Teilaspekte des digitalen Zertifizierungsprozesses abgebildet werden. Softwareimplementierungen, welche die Nachweisprozesse auf Datenebene vollumfänglich umsetzen können, sind jedoch nicht verfügbar.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden die Kriterien SOC2.1 „Barrierefreiheit“ und ECO2.1 „Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit“ als Untersuchungsgegenstand gewählt, da ein hoher Anteil der Anforderungsabbildung allein durch das geometrische 3D-Modell erwartet wurde. Durch die Analyse der Attribuierungsmatrizen lässt sich diese Annahme nicht bestätigen. Unter Einbeziehung von globalen Parametern ergeben sich für beide untersuchten Kriterien nur rund 30% des Modellcontents aus Nachweisanforderungen an geometrische Repräsentationen (vgl. Abbildung 38). Eine Standardisierung des Modellcontents ist daher für die gewählten abzubildenden Kriterien zur praktikablen Umsetzung zwingend notwendig, um die Methoden praxisnah anwendbar zu machen.

Für die Abbildung der Anforderungen aus Nachhaltigkeitskriterien wurde eine Methodik der Prozessanalyse der einzelnen Nachhaltigkeitskriterien zur Ermittlung der Informationsanforderungen und die anschließende Überführung in eine Attribuierungsmatrix entwickelt. Eine Softwareimplementierung von standardisierten Regelsätzen und die Umsetzung von Auswertungsalgorithmen zur kommerziellen und effizienten Anwendung setzt die systematische Analyse der Zertifizierungssysteme voraus. Dafür sind die Kriterien auf ihre datentechnische Umsetzbarkeit je Leistungsphase zu klassifizieren und zu überprüfen, wofür sich die hier erarbeitete Methode in besonderem Maße eignet. Die einheitliche Vorgabe von Attribuierungsmatrizen auf Objektebene in Abhängigkeit weiterer Randbedingungen, wie z. B. Prüfalgorithmen und Auswertungsprozessen in bestehender Modelchecker-Software, ist als Grundlage für eine flächendeckende Standardisierung zu erarbeiten und als Vorgabe bzw. Lastenheft für die modellbasierte Zertifizierung allen Prozessbeteiligten vor Beginn des Zertifizierungsprozesses bereitzustellen. Der Modelldetaillierungsgrad in den unterschiedlichen Projektleistungsphasen eines Bauwerkes ist weiterhin in den Attribuierungsmatrizen zu berücksichtigen, um die termingerechte Prüfung von Zertifizierungskriterien und die gebündelte Zusammenstellung von weiteren Prüfunterlagen durch den Auditor zu gewährleisten. Der notwendige Informationsgehalt der Attribuierungsmatrizen ist folglich als hoch und detailreich einzustufen.

Das Anlegen von vorgefertigten Regelsätzen je Nachhaltigkeitskriterium in der Modelchecker-Software, sowie Programmaufsätze für CDE-Plattformen stellt eine sinnvolle und praktikable Lösung dar. Die Entwicklung und Validierung dieser Modellierungs- und Parametrisierungsvorgaben in Form von Attribuierungsmatrizen für weitere Nachhaltigkeitskriterien ist dabei idealerweise zentral, beispielsweise durch buildingSMART in Abstimmung mit der DGNB bzw. dem BNB, zu steuern, um die Idee des openBIM-Ansatzes zu wahren.

Des Weiteren sind für die Betrachtung von Kriterien, welche eine Vielzahl an Materialkennzahlen zur Darstellung und Auswertung wie beispielsweise das Kriterium ENV1.1 „Ökobilanz des Gebäudes“ benötigen, die Möglichkeiten zur Integration von externen Datenbanksystemen wie die ÖKOBAUDAT in die Prozesse der Informationsanforderungen und Attribuierungsmatrizen zu untersuchen.

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes ONIB haben die Notwendigkeit zur weiterführenden Betrachtung der Datenverwaltung und -Verarbeitung zur Implementierung von Nachhaltigkeitsanforderungen in digitale Gebäudemodelle aufgezeigt. Eine weitergehende Bearbeitung der Umsetzung regelbasierter Nachhaltigkeitsprüfungen wirft die Fragestellung der Abbildung aktuell vorhandener Zertifizierungsprogramme auf. Durch das Vorhandensein mehrerer Zertifizierungssysteme und deren unterschiedlicher Ausrichtungen in Kriterienanzahl, -Gewichtung und -Anforderungen ist eine Standardisierung von Nachhaltigkeitsabbildungen in digitalen Modellen durch eine zentrale Institution nur für einen größten gemeinsamen Nenner möglich. Die Erarbeitung von konkreten Umsetzungsvorgaben und deren Veröffentlichung zur gesamthafte Nachhaltigkeitsbetrachtung von Bauwerken in digitalen Modellen muss daher direkt durch die Zertifizierungsstellen erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass BIM-basierte Nachhaltigkeitszertifizierungen dabei sowohl Chancen als auch Risiken für die Stakeholder des Zertifizierungsprozesses darstellen. Regelbasierte Nachhaltigkeitsabprüfungen können zum einen Werkzeug zur Effizienzsteigerung innerhalb des Zertifizierungsprozesses darstellen, andererseits als Existenzbedrohung von den ausführenden Zertifizierungsstellen angesehen werden. Der Fokus für weitere Untersuchungen sollte folglich auf Kriterien liegen, welche im Rahmen eines Bauwerksentwurfes in frühen Planungsphasen allumfassend berücksichtigt werden können.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde eine Vielzahl an Ansätzen entwickelt, um den Herausforderungen des Nachhaltigen Bauens durch die Integration der Methode Building Information Modeling in Zertifizierungsprozessen zu begegnen. Das Institut für Baumanagement und Digitales Bauen steht dabei als Ansprechpartner für weiterführende Untersuchungen bezüglich der Thematik zur Verfügung. Die Weitergabe der erarbeiteten Untersuchungsgegenstände wie z.B. Attribuierungsmatrizen oder AIA- und BAP-Dokumente ist auf Anfrage beim Institut für Baumanagement und Digitales Bauen möglich.

Literaturverzeichnis

- [1] BISCHOF, Moritz ; BOUGAIN, Aude ; GANTNER, Johannes ; HAUSKNECHT, Kerstin ; HEINS, Christian ; KIRMAYR, Thomas ; NOISTEN, Peter ; OBERG, Achim ; PRÜSER, Hans-Hermann ; WENZEL, Günter: *BIMiD-Leitfaden - So kann der Einstieg in BIM gelingen*. URL <https://bim-cluster-rlp.de/pdf/BIMiD-Leitfaden-2018.pdf> – Überprüfungsdatum 2019-10-30
- [2] HELMUS, Manfred ; MEINS-BECKER, Anica ; KELM, Agnes ; QUESSEL, Melanie ; KAUFHOLD, Matthias ; RÖHR, Christoph ; PILLING, André: *BIM-Leitfaden für den Mittelstand : Wie viel BIM verträgt ein Mittelstandsprojekt?* Stand: Dezember 2018. Bonn : Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2018 (Zukunft Bauen 19)
- [3] BERNEGGER, Heinz J. ; DRUHMAN, Carsten K.: *Der Einsatz von BIM Technologien bei der Nachhaltigkeitszertifizierung*. URL http://www.ipdc.at/docs/2017/PRAE_IPDC-2017_170302-3_BIM-DGNB_Bernegger-Druhmman.pdf – Überprüfungsdatum 2019-10-30
- [4] PETROVA, Ekaterina Aleksandrova ; ROMANSKA, Iva ; STAMENOV, Martin ; SVIDT, Kjeld ; JENSEN, Rasmus Lund: *Development of an Information Delivery Manual for Early Stage BIM-based EnergyPerformance Assessment and Code Compliance as a Part of DGNB Pre-Certification*. In: *Proceedings of the 15th IBPSA Conference: Building Simulation 2017* 15 (2017), S. 2100–2109
- [5] KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE: *BIM-basierte Integrale Planung - Projektübersicht*. URL <https://blm.ieb.kit.edu/1313.php> – Überprüfungsdatum 2019-10-30
- [6] ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS (Hrsg.): *Europäische Nachhaltigkeitsstatistik 2017*. 2017
- [7] DGNB GMBH: *Übersicht aller Kriterien*. URL <https://www.dgnb-system.de/de/gebaeude/neubau/kriterien/>. – Aktualisierungsdatum: 2019-11-27
- [8] BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT: *How BREEAM Certification Works*. URL <https://www.breeam.com/discover/how-breeam-certification-works/>. – Aktualisierungsdatum: 2019-11-27
- [9] BUNDESMINISTERIUM DES INNERN, FÜR BAU UND HEIMAT: *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) : Systemvariante Büro- und Verwaltungsgebäude, Modul Neubau (BNB_BN)*. URL https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/BNB_Steckbriefe_Buero_Neubau/aktuell/BNB_BN_2015_02_Bewertungstabelle_.pdf. – Aktualisierungsdatum: 2019-11-27
- [10] U.S. GREEN BUILDING COUNCIL: *LEED v4 for BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION*. URL https://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%20v4%20BDC_07.25.19_current.pdf. – Aktualisierungsdatum: 2019-11-28

-
- [11] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT: *Leitfaden Nachhaltiges Bauen : Zukunftsfähiges Planen, Bauen, und Betreiben von Gebäuden*. URL https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Leitfaden_2015/LFNB_D_final-barrierefrei.pdf – Überprüfungsdatum 2019-10-30
- [12] FRANKFURT SCHOOL OF FINANCE & MANAGEMENT: *Übersicht*. URL <https://www.frankfurt-school.de/home/about/campus> – Überprüfungsdatum 2019-10-30
- [13] DGNB GMBH: *Neubau Frankfurt School of Finance & Management*. URL <https://www.dgnb-system.de/de/projekte/neubau-frankfurt-school-of-finance-management> – Überprüfungsdatum 2019-11-04
- [14] DGNB GMBH: *DGNB System - Der Weg zur Zertifizierung*. URL <https://www.dgnb-system.de/de/zertifizierung/weg-zum-zertifikat/> – Überprüfungsdatum 2019-11-22
- [15] 2013. *ISO 16739:2013 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries, International Organization for Standardization*
- [16] ALBERT, Andrej (Hrsg.): *Bautabellen für Ingenieure : Mit Berechnungshinweisen und Beispielen*. 23., überarbeitete Auflage. Köln : Bundesanzeiger, 2018
- [17] KLEMT-ALBERT, Katharina ; BAHLAU, Sascha: *Das BIM-Modell als Single Source of Truth*. In: *Bauwirtschaft* (2017), Nr. 2, S. 74–79
- [18] Entwurf DIN EN ISO 16739. April 2017. *Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauwirtschaft und im Anlagenmanagement*
- [19] BUILDINGSMART GERMANY: *Standards*. URL <https://www.buildingsmart.de/bim-knowhow/standards> – Überprüfungsdatum 2019-11-26
- [20] KLEMT-ALBERT, Katharina: *Building Information Modeling*. In: ALBERT, Andrej (Hrsg.): *Bautabellen für Ingenieure : Mit Berechnungshinweisen und Beispielen*. 23., überarbeitete Auflage. Köln : Bundesanzeiger, 2018, 1.68-1.87
- [21] BUILDINGSMART INTERNATIONAL: *Industry Foundation Classes (IFC)*. URL <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/> – Überprüfungsdatum 2019-11-25
- [22] BUILDINGSMART INTERNATIONAL: *Software Certification*. URL <https://www.buildingsmart.org/compliance/software-certification/> – Überprüfungsdatum 2019-11-25
- [23] DGNB GMBH: *DGNB System - Kriterienkatalog Gebäude Neubau*. URL https://static.dgnb.de/fileadmin/de/dgnb_system/Nutzungsprofile/Kriterienuebersicht/Kriterienuebersicht_DGNB_System_Version2018.pdf?m=1516093268& – Überprüfungsdatum 2019-11-04
- [24] BUILDINGSMART INTERNATIONAL: *buildingSMART International Standards Server*. URL <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/> – Überprüfungsdatum 2019-11-21