



Ressourceneffizienz durch Building Information Modeling

Anforderungen und Potenziale



Ressourceneffizienz durch Building Information Modeling

Anforderungen und Potenziale

1. Auflage, März 2023

Agatha Braun, Werner Sobek AG
Steffen Feirabend, Werner Sobek AG
Dominga Garufi, Werner Sobek Design GmbH
Stefanie Weidner, Werner Sobek AG

Fachlicher Ansprechpartner:
Mario Wiest, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Die Broschüre wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz erstellt.

Titelbild: The Q, Visualisierung © kister scheithauer gross architekten und stadtplaner GmbH

EINLEITUNG	4
WAS BEDEUTET RESSOURCENEFFIZIENZ?	7
WAS IST BUILDING INFORMATION MODELING?	8
ANFORDERUNGEN AN AIA UND BAP ZUR STEIGERUNG DER RESSOURCENEFFIZIENZ	14
MODELLANFORDERUNGEN	18
PROJEKTBEISPIELE	22
ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	28
GLOSSAR	32
LITERATUR	34

Einleitung

Ein schonender Umgang mit den natürlichen Ressourcen ist eine zentrale Voraussetzung für einen besseren Klimaschutz und den Erhalt der Biodiversität unseres Planeten. Besonders im Bauwesen gibt es aufgrund der Größe der Stoffströme ein immenses Potenzial, um den Ressourcenverbrauch zu senken und Treibhausgase zu reduzieren. In diesem Zusammenhang sind eine verbesserte Kreislaufführung der verwendeten Baumaterialien sowie eine Optimierung der Transportwege und der Betriebsphase wichtige Maßnahmen. Hier kann **Building Information Modeling** (BIM) als übergreifende digitale Arbeitsmethode unterstützen.

Die vorliegende Broschüre zeigt übersichtsartig auf, welche Anforderungen erfüllt sein müssen, um eine bessere Ressourceneffizienz zu erreichen. Ausgewählte Projektbeispiele zeigen zudem, wie diese Potenziale bereits konkret realisiert werden.



Abbildung 1: Steinbruch in Süddeutschland
© PantherMedia/Achim Prill

Kreislaufführung der Materialien

Die Weichen für eine möglichst große Ressourceneffizienz von Bauwerken werden bereits in den allerersten Planungsphasen gestellt.¹ In diesen Konzeptionsphasen werden Entscheidungen getroffen, die die Performance eines Gebäudes über seinen gesamten Lebenszyklus hinweg prägen. Aber auch in späteren Planungsphasen ist eine enge Abstimmung aller Projektbeteiligten zwingende Voraussetzung für die Einhaltung der angestrebten Nachhaltigkeitsziele. Durch die Realisierung einer rückbaufreundlichen Konstruktion und den Einsatz von hochwertig rezyklierbaren Materialien können Neubauten nach einer möglichst langen und intensiven Nutzungsphase als **Rohstofflager** dienen – und so einen wichtigen Beitrag zur Ressourcenschonung leisten. Schließlich können gut erhaltene und zerstörungsfrei demontierbare Bauteile oder Bauteilschichten potenziell wieder- bzw. weiterverwendet werden.

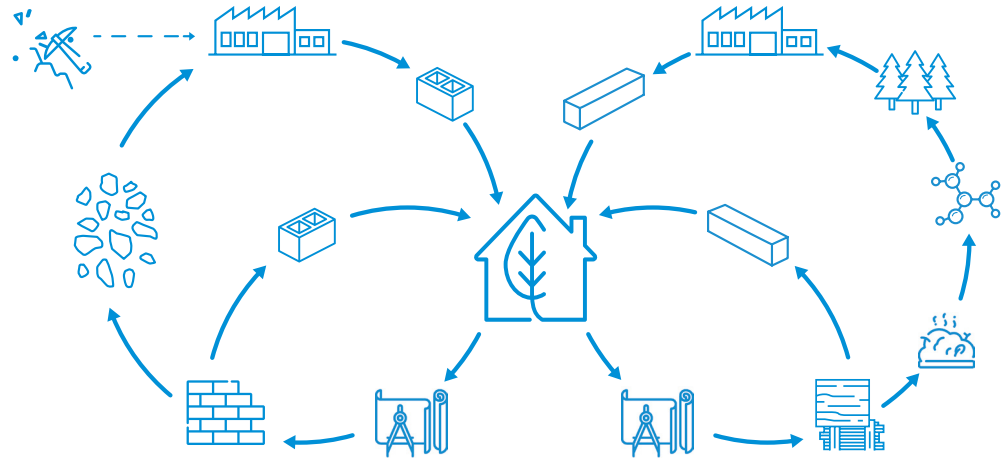


Abbildung 2: Kreislaufführung in einem technischen (links) bzw. biologischen (rechts) Kreislauf, © Werner Sobek AG²

Ist eine Wiederverwendung nicht möglich, sollte jedoch sichergestellt sein, dass die genutzten Materialien zu 100 % in technische oder biologische Kreisläufe (vgl. Abbildung 2) zurückgeführt werden können.

Das Bauwesen wurde im letzten Jahrhundert stark von den Werkstoffen Beton und Stahl sowie anderen mineralischen Baustoffen dominiert. Abbildung 3 stellt die konventionelle Materialverteilung innerhalb eines typischen Gebäudes in Massivbauweise aus dem späten 20. Jahrhundert dar.

Im Zusammenhang mit dem Ressourcenverbrauch durch das Bauwesen birgt die BIM-Methode große Potenziale zur Einsparung von (Primär-)Ressourcen. Durch das frühzeitige Zusammenarbeiten von verschiedenen Expertinnen und Experten aus der Bauplanung

kann der gesamte Gebäude- bzw. Bauwerkslebenszyklus berücksichtigt werden. So werden Wechselwirkungen (beispielsweise zwischen Bauwerk und technischer Gebäudeausrüstung) erkannt und sukzessive optimiert. Mithilfe digitaler Tools können Ressourcen zudem bereits in der Planung geschont werden.

Mit den im digitalen Modell hinterlegten Produktkennzeichnungen wird die Sicherstellung eines durchgehenden Informationsflusses über den gesamten Lebenszyklus möglich. Hierbei handelt es sich u. a. um eine wichtige Voraussetzung einerseits für die Umnutzung und Wiederverwendung von Bestandsgebäuden, andererseits für ein möglichst hochwertiges und umfassendes Recycling der Bauwerkskomponenten am Ende des Lebenszyklus - End of Life (EoL).

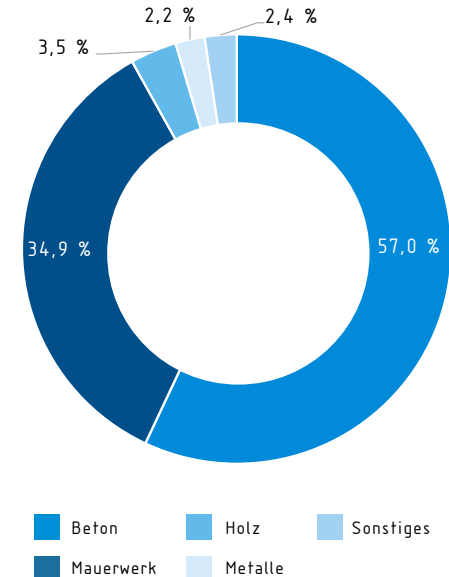


Abbildung 3: Materialzusammensetzung (massebezogen) eines Wohngebäudes konventioneller Bauweise, © Werner Sobek AG³

Was bedeutet Ressourceneffizienz?

Von besonderer Relevanz im Umgang mit den Herausforderungen der Rohstoffverknappung ist Ressourceneffizienz. **Der VDI definiert Ressourceneffizienz als Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür eingesetzten Ressourceneinsatz.**⁴ Auf das Bauwesen übertragen besteht der Nutzen darin, die Funktion und Anforderungen eines Bauteils innerhalb eines Bauwerks zu erfüllen. Der Ressourcenaufwand bezieht sich auf alle natürlichen Ressourcen, zu denen neben Rohstoffen Fläche und Energieträger ebenso wie Luft und Wasser, aber auch Böden und Ökosystemleistungen (vgl. Abbildung 4) zählen.

Ziel ist es – neben einer Reduktion der Menge eingesetzter Primärressourcen – sämtliche Bauprodukte in einen technischen (vgl. Abbildung 2, links) bzw. biologischen Kreislauf (vgl. Abbildung 2, rechts) rückzuführen. Das geschieht idealerweise entlang einer

möglichst flach abfallenden Recyclingkaskade. Ressourceneffizienz reduziert nicht nur den Ressourcenverbrauch, sondern auch den Verbrauch sog. **Grauer Energie** resp. **Grauer Emissionen**. Als Graue Energie wird dabei die Energie bezeichnet, die aufgewendet wird, um Bauwerke zu errichten. Sie umfasst die Energie zum Abbau von Rohstoffen, zur Herstellung von Bauteilen, zum Transport von Menschen, Maschinen, Bauteilen und Materialien zur

Baustelle, zum Einbau von Bauteilen im Gebäude sowie zur Entsorgung. Graue Emissionen sind die aus diesen Vorgängen resultierenden Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen). Graue Emissionen als Begriff ist somit umfassender, da bei einigen Produktionsprozessen, z. B. bei der Herstellung von Stahl oder Zement, auch aufgrund chemischer Reaktionen CO₂ emittiert wird.

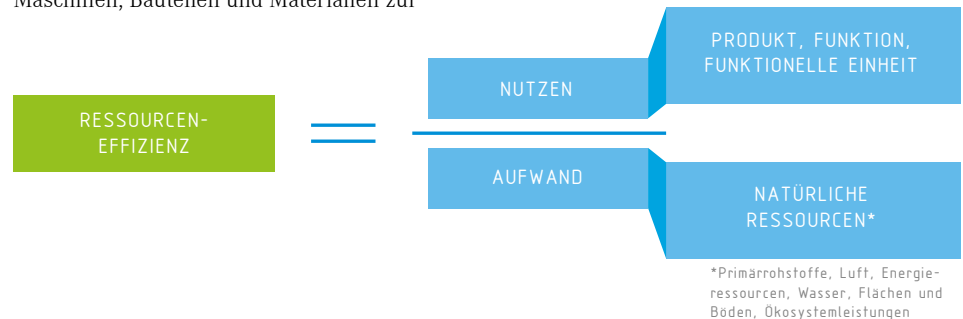


Abbildung 4: Ressourceneffizienz-Gleichung, © VDI 4800 Blatt 1

Was ist Building Information Modeling?

„Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“⁵

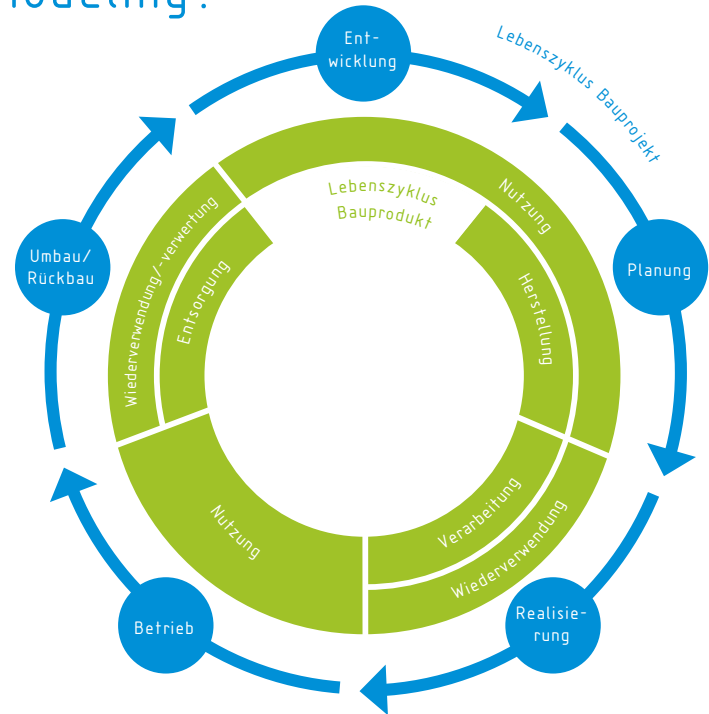


Abbildung 5: Lebenszyklusphasen eines Bauprojektes und Bauprodukts, © Werner Sobek AG

Definition

Mithilfe der BIM-Methode ist es möglich, eine vielfältige und nachhaltige Nutzung aller Bauwerksinformationen durch alle Projektbeteiligten über den gesamten Lebenszyklus zu gewährleisten. Ein Lebenszyklus umfasst dabei sämtliche Phasen eines Bauwerks mitsamt aller Bauprodukte, von den ersten Ideen, der Planung über die Realisierung und den Betrieb bis hin zum Um- und Rückbau (vgl. Abbildung 5).

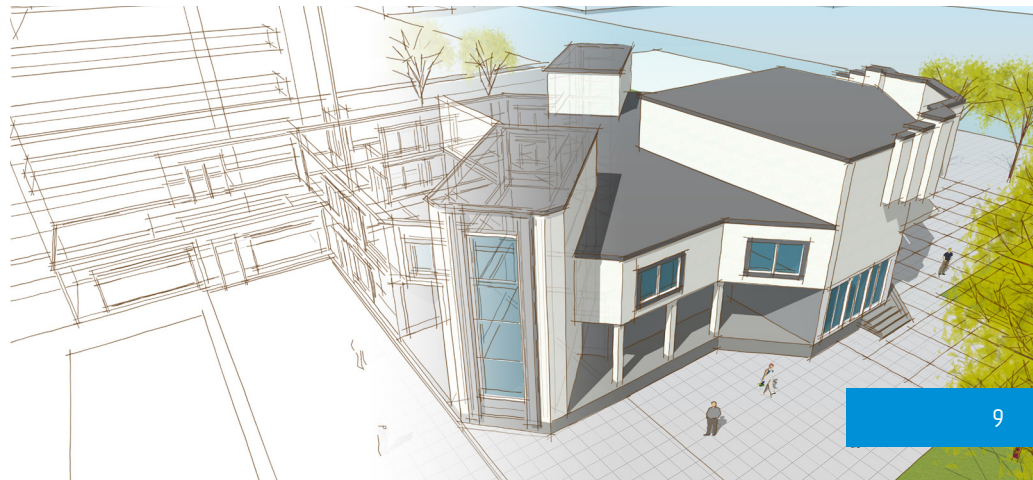
Die bereitgestellten Informationen werden in einem sog. **digitalen Zwilling** zusammengeführt. Dieser spiegelt in seinen aufgeführten Eigenschaften (Geometrie, Attribute etc.) das abgebildete Bauwerk in der jeweiligen Lebenszyklusphase wider. Dieses Vorgehen birgt enorme Vorteile und Chancen. So ermöglicht es u. a. agile Revisionszyklen, bei denen der Projektfortschritt im Planungs- und Baupro-

zess ständig überprüft, Probleme erkannt und interdisziplinär gelöst werden können.

BIM kann als sogenanntes **Closed-BIM** oder **Open-BIM** in Projekten Anwendung finden – mit proprietären oder offenen Datenformaten.

Derzeit wird die Verwendung digitaler Werkzeuge und Methoden in **vier verschiedene BIM-Leistungsniveaus** unterteilt, die in der VDI Richtlinie 2552 Blatt 1⁶ definiert werden. Abbildung 7 stellt die Leistungsniveaus 0 bis 3 in einer kurzen Übersicht dar.

Abbildung 6: 3D-Modell eines Bürogebäudes,
© PantherMedia/SAdesign



BIM-Leistungsniveaus

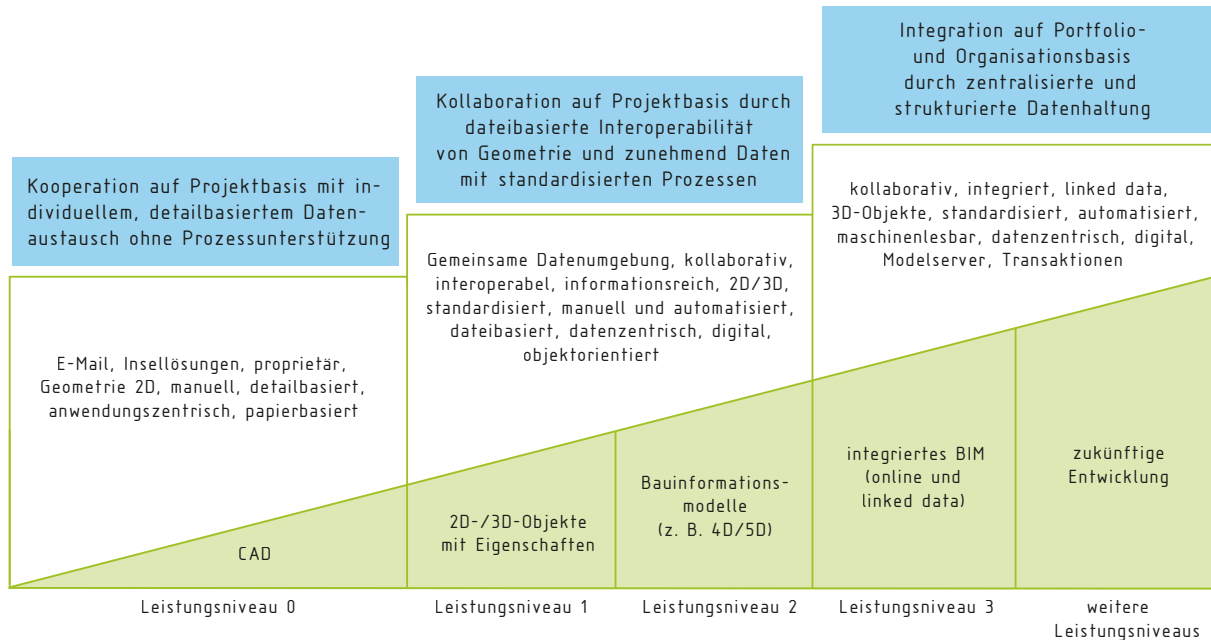


Abbildung 7: Übersicht der Leistungsstufen, © VDI 2552 Blatt 1, wiedergegeben mit Erlaubnis des Verein Deutscher Ingenieure e. V.

Anwendungsfälle von BIM

Die Anforderungen der baubeauftragenden Instanz an die Informationslieferung zur Erreichung der BIM-Ziele werden in den Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) definiert (vgl. Abbildung 8). Auf Basis der übergeordneten Projektziele werden die projektrelevanten BIM-Ziele identifiziert, um daraus die BIM-Anwendungsfälle (AWF) abzuleiten. So wird aus dem übergeordneten Projektziel der „Kostensicherheit“ das BIM-Ziel der „Verbesserten Mengenermittlung“ abgeleitet und mittels BIM-Anwendungsfall „Modellbasierte Mengenermittlung“ umgesetzt. Die AIA stellen das Lastenheft der Auftraggebenden für die Umsetzung der BIM-Ziele dar und werden im Pflichtenheft, dem sog. **BIM-Abwicklungsplan** (BAP), in Zusammenarbeit der am Projekt Beteiligten, fortgeschrieben.

Ein AWF beschreibt demnach, für welchen Zweck Modelldaten in einem Projekt genutzt

werden. Die Festlegung der AWF durch die auftraggebende Instanz in den AIA ist Voraussetzung, damit die erstellten Modelle auch die zur Umsetzung erforderlichen Informationen (z. B. Geometrie, Attribute) enthalten.

Dabei muss klar kommuniziert werden, von welcher Disziplin und in welcher Leistungsphase der AWF Anwendung findet. Zu den relevantesten AWF zählt der VDI (vgl. hierzu Richtlinie VDI 2552 Blatt 4) die BIM-basierte Koordination, Planableitung, Visualisierung, Kostenberechnung, LV-Erstellung, Bauablaufsimulation und das Mängelmanagement.⁷

Basierend auf den AWF des VDI hat **BIM Deutschland** (Zentrum für die Digitalisierung des Bauwesens) eine Liste mit 21 standardisierten Anwendungsfallbezeichnungen⁸ veröffentlicht, die als Grundlage für mögliche AWF in den AIA und im BIM-Abwicklungsplan (BAP) herangezogen werden können.

Die BIM-Methode hält auch bei öffentlichen Auftraggebenden Einzug; so ist es für alle Bundesbauten seit Ende 2022 verbindlich, die BIM-Methode für neu zu planende Baumaßnahmen anzuwenden. Drei hierfür eigens definierte Levels⁹ beschreiben eine mehrstufige Einführung der BIM-Anwendungsfälle für Bundesbauten, um eine vollständige Implementierung bis 2027 zu gewährleisten.

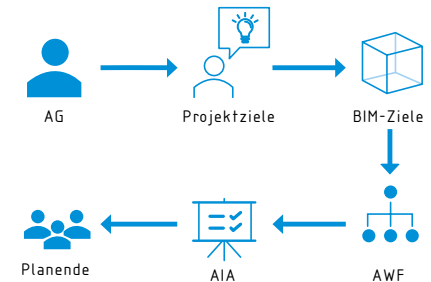


Abbildung 8: Integration von Projekt- und BIM-Zielen in Planungsprozesse, © Werner Sobek AG

Chancen durch BIM

Grundsätzlich kann die BIM-Methode erhebliche Vorteile bringen, die sich positiv auf Effizienz und Qualität eines Projektes auswirken (vgl. Abbildung 9).

Durch die steigende Nachfrage nach nachhaltigen Bauwerken muss der traditionelle, 2D-geprägte Planungsprozess eine Veränderung erfahren.¹⁰ Die Erstellung und mögliche Analyse von Datenmodellen aller maßgeblichen Fachplanenden bietet hierbei ein immenses Potenzial, den Entwurf bereits in frühen Planungsphasen zu prüfen, zu optimieren und die Nutzung von Ressourcen auf ein Minimum zu reduzieren.

Eine Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in den BIM-Prozess birgt folgende Vorteile:

- Modellbasierte Ökobilanzierung und Lebenszykluskostenberechnung
- Verfolgung der Umweltauswirkungen (z. B. Emissionen, Wasserverbrauch, Energiebedarf u.v.m.) beim Modellieren durch wenige bzw. idealerweise ganz ohne Zwischenschritte
- Nachhaltige, positive Auswirkungen auf den Entwurfsprozess, z. B. Variantenuntersuchungen mittels Simulationen (auch über Virtual/Augmented Reality) ermöglichen Entwurfsentscheidungen auf Basis ökologischer Aspekte
- Dokumentation der eingesetzten Baustoffe ermöglicht die Planung der zukünftigen Demontage und der Wiederverwendung bzw. Wiederverwertung

- Reduktion der Verbräuche während des Betriebs durch technisches Monitoring sowie Soll-Ist-Abgleiche
- Nutzung des Modells für Nachhaltigkeitszertifizierungen

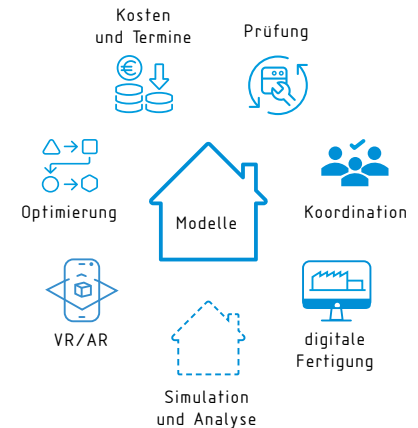


Abbildung 9: Leistungsbereiche der BIM-Methode, © Werner Sobek AG

Herausforderung

Eine große Herausforderung besteht darin, alle Projektbeteiligten (angefangen bei den Auftraggebern) für eine frühzeitige Integration von Nachhaltigkeitsaspekten zu sensibilisieren, die daraus resultierenden Anforderungen bereits in den AWF der AIA zu definieren und ihre Umsetzung im Projektverlauf weiterzuverfolgen.

Abbildung 10 verdeutlicht die Einflussnahme in den anfänglichen Leistungsphasen und ordnet die planungsbegleitenden AWF dem Projektverlauf zu.

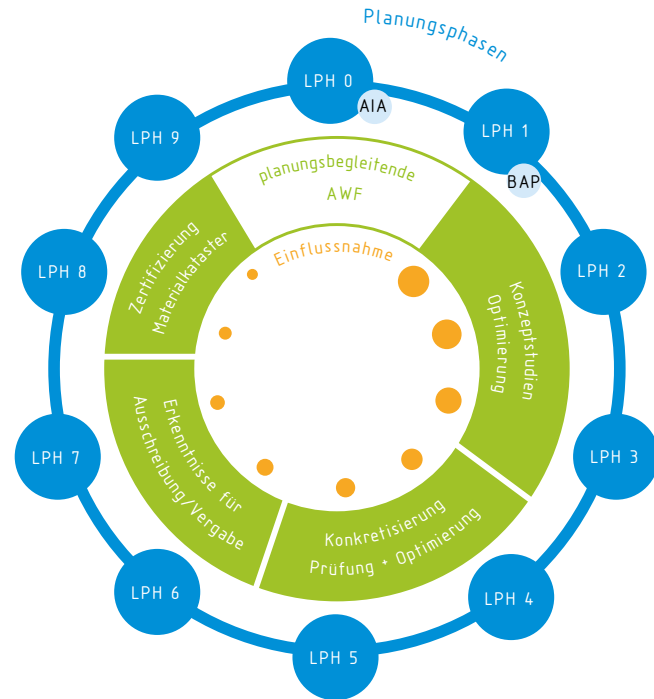


Abbildung 10: AWF während der Planung je Leistungsphase, © Werner Sobek AG

Die mit BIM entstehenden Modelle bieten einen wertvollen Daten- und Informationspool, der von Kommunen und Städten (unter Wahrung des Datenschutzes) genutzt werden sollte. Dies gilt sowohl auf Gebäude- als auch auf Quartiersebene.

Anforderungen an AIA und BAP zur Steigerung der Ressourceneffizienz

Die Bereitschaft zur frühen integralen Planung ist Voraussetzung für die Anwendung der BIM-Methode und die Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele. So bestimmt bereits die Entwurfsphase z. B. mittels Kubatur, Ausrichtung oder Wahl der Materialien die Ressourceneffizienz eines Bauwerks maßgeblich.

Mit BIM werden Bauwerke über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg geplant - vom Entwurf bis zum Rückbau. In den **Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA)** definieren die Auftraggebenden bereits vor Planungs- und Baubeginn die BIM-Projektziele, sowie die dafür notwendigen Informationen und Strategien.

Die AIA klären damit grundsätzlich die Frage: „Was wird wann von wem benötigt?“ und bilden inhaltlich die Grundlage des gemeinschaftlich erarbeiteten **BIM-Abwicklungsplans (BAP)**. Somit schaffen diese Festlegungen, insbesondere die AWF, auch die vertragliche Grundlage für eine umfassende Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten.



Abbildung 11: Teamwork.
© PantherMedia/PeopleImages.com

Auftraggeber-Informationsanforderungen

Die BIM-Methode an sich unterstützt bereits Anwendungsfälle des nachhaltigen Bauens durch die zentrale, transparente Bereitstellung von Informationen und deren Pflege.¹¹ Angesichts der stetig wachsenden Anforderungen an Bauwerke im Sinne der Ressourcenschonung und Energieeinsparung sollten in den AIA jedoch explizitere BIM-Ziele/AWF eingeführt werden.

Ebenso gilt es, die erforderlichen Informationslieferungszeitpunkte mit den jeweils notwendigen Daten und Detaillierungsgraden sicherzustellen. Folgende Schlüsselthemen sollten zukünftig in neuen bzw. erweiterten AWF Berücksichtigung finden:

- Modellbasierte Gebäudeökobilanzierung (Life Cycle Assessment - LCA) zur Berechnung der Umweltwirkungskategorien, z. B. Treibhauspotenzial (Global Warming Potential - GWP)
- Modellbasierte Generierung des Gebäuderessourcenpasses (GRP) zur Evaluierung des Recyclingpotenzials sowie der ökologischen Einflüsse und als Entscheidungshilfe bzw. Optimierungswerkzeug in der Planung
- Datenerfassung und -austausch in einem Modell über den gesamten Lebenszyklus zur Ermittlung der Lebenszykluskosten (Life Cycle Costs - LCC)
- Modellbasierte Simulationen von Tageslicht, Belüftung, Akustik, Nutzenergiebedarf bis hin zu Bauablauf, Logistik usw. (auch mithilfe von VR/AR)
- Verwendung der Modelle für Nachhaltigkeitszertifizierungen (DGNB, LEED, BREEAM etc.)
- frühzeitige Einbindung von Nutzenden und Betreibenden
- Anwendung der Prinzipien von „Lean Construction“¹² in allen Phasen eines Projekts zur Minimierung jeglicher Verschwendung

BIM-Abwicklungsplan

Der BIM-Abwicklungsplan (BAP) der Beteiligten ist eine Antwort auf die AIA und bietet Details sowie Informationen darüber, wie und wann die genannten Projektziele und AWF disziplingerecht zu erbringen sind und wie die Verantwortung der einzelnen Teammitglieder zu verteilen ist.

Um die oben genannten neuen AWF umzusetzen, sind im BAP insbesondere die Informationsanforderungen zu definieren, die eine effiziente Nachhaltigkeitsbewertung darstellen und die sich je nach Projektphase, Methodik und Zertifizierungssystem unterscheiden.

Modellbasierte LCA/GRP erfordern beispielsweise die Verknüpfung projektspezifischer BIM-Daten mit Baustoffdatenbanken: generische Datensätze wie in der ÖKOBAUDAT oder herstellerspezifische Datensätze (Umweltproduktdeklarationen – EPD).

Damit einhergehend ist der Grad des Informationsbedarfs (Level of Information Need – LOIN) pro Modellobjekt und Leistungsphase zu ermitteln. Ebenso sind entsprechende Attribute und Modellierungsanforderungen zu formulieren, die einen Bezug zwischen Modell und Datenbank sicherstellen.

Neben den allgemeinen Bauteilinformationen zu Bauteilschichten, Materialkennwerten, Geometrie, Mengen und Massen müssen für eine vollständige Ökobilanzierung zusätzlich Informationen zum Energiebedarf des Bauwerks als Attribut im Modell abrufbar sein. Eine modellbasierte LCC-Berechnung erfordert Informationen zu Wartungsintervallen, Lebensdauer, Kosten etc. und eine Kategorisierung der Elemente und Räume (z. B. nach DIN 276/277). Für (Klima-)Simulationen können weitere Datenbanken wie Wetterdatensätze mit dem Modell verknüpft werden.

Für diese Form der Informationsanforderungen werden perspektivisch Standardisierungen von Modellierungsrichtlinien und Anwendungsfällen maßgebend sein, um eine Automatisierung im Hinblick auf die Nachhaltigkeitsbewertung und Zertifizierung zu gewährleisten. Erste nationale Standards werden zukünftig im Rahmen der Richtlinie VDI 2552 Blatt 11.4 „Ökobilanzierung und BIM“ sowie von Seiten der buildingSMART Fachgruppe „BIM und Nachhaltigkeit“ erwartet.¹³

Integration in die Gebäudephasen

Die Integration von Nachhaltigkeitsaspekten sowie die dadurch mögliche Bewertung/Bilanzierung können über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes stattfinden und dabei unterschiedliche Ziele verfolgen. LCA-/GRP-/LCC-Berechnungen bzw. Ermittlungen in frühen Planungsphasen können z. B. für Varianten- und Konzeptstudien herangezogen werden oder für optimierende Vergleiche einzelner Bauteile und Materialien.

In der Ausführungsplanung liegen konkrete Informationen über ein Bauwerk und dessen (technische) Ausstattung vor und ermöglichen detaillierte Bilanzierungen sowie das Bestimmen weiterer Optimierungspotenziale (u. a. durch Vergleich von Materialien/EPDs).

Bei sorgsamer Modellpflege kann das As-built-Modell nach Errichtung des Gebäudes mit Informationen der Herstellenden ergänzt werden. Dieses detaillierte Modell lässt sich

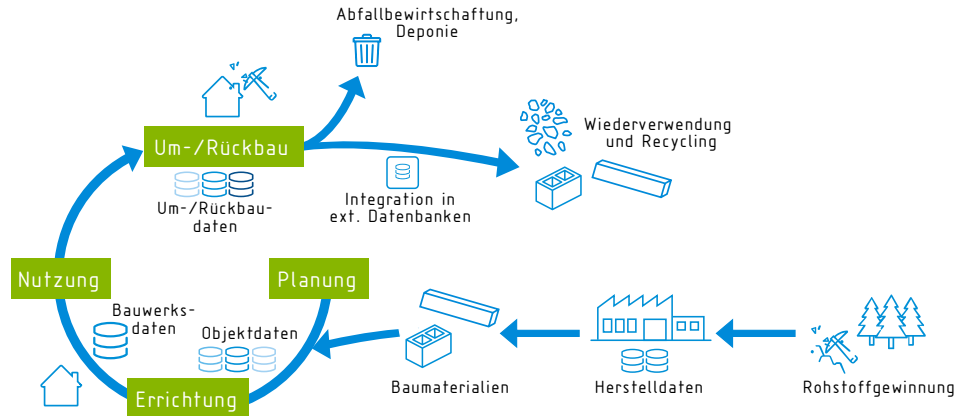


Abbildung 12: Lebenszyklus von Bauwerken und Daten, © VDI ZRE¹⁴

nicht nur für Nachweisverfahren in Zertifizierungen verwenden, sondern erleichtert zudem die Wartungs-, Erhaltungs-, Sanierungs- und Umbauarbeiten. Die im Modell dokumentierten Prozesse ermöglichen am EoL eines Bauwerkes die Planung eines effizienten Abbruchs bzw. Rückbaus. So können auch die Kreislaufpotenziale der verwendeten Baustoffe aufgezeigt werden.

Hinsichtlich der Umsetzung, besonders mit Blick auf Open-BIM-Projekte, sind hierbei die Optimierung der Schnittstellen und die Datendurchgängigkeit im gesamten Lebenszyklus von großer Bedeutung (vgl. Abbildung 12).

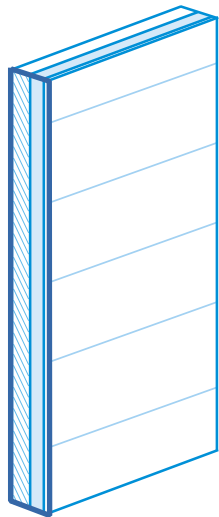
Modellanforderungen

Aufbau und Information

Die Umsetzung der Ergänzungen der AIA und des BAP um Nachhaltigkeitsaspekte erfordert eine geschärfte Achtsamkeit der Fachdisziplinen bezüglich des Modellaufbaus sowie der geforderten Daten und Informationen (sog. Attribute) in den jeweiligen Fachmodellen (vgl. Abbildung 13). Neben der Attributfestlegung ist der Zeitpunkt der Attribuierung festzulegen und mögliche Verknüpfungen mit anderen Anwendungen sicherzustellen. In Zukunft werden Richtlinien diese Anforderungen definieren, um nachfolgende Auswertungen und Simulationen sowie Zertifizierungen und Erstellungen von Gebäuderessourcenpässen umzusetzen. Derzeit ist die VDI/bS 2552 Blatt 11.4 zu Informationsaustauschanforderungen für

die Ökobilanzierung in Arbeit. Da diese Definitionen zurzeit jedoch noch nicht standardisiert sind, müssen projektspezifisch Abstimmungen und Festlegungen getroffen werden. Hierzu gilt es beispielsweise¹¹

- die Anforderungen in verarbeitbare Modellinformationen zu übersetzen,
- Modellelemente so aufzubauen, dass sie eindeutig und individuell auswertbar sind (so sollte jeder Bauteilschicht eine eigene Lebensdauer zugewiesen werden können),
- eine spezifische Materialnomenklatur abzustimmen, um eine automatische Materialerkennung für die LCA-Analyse-Tools oder den GRP eines bestimmten Projekts zu ermöglichen,
- Attribute pro Modellobjekt zu definieren, die die Umweltwirkung (z. B. GWP), den Ressourceneinsatz (z. B. Primärenergie oder Rohstoffaufwand) oder weitere Umweltinformationen (z. B. Kreislauffähigkeit, Wasserverbrauch) abbilden,
- den korrekten geografischen Projektstandort im Modell zu hinterlegen (IfcSite),
- weitere, gemäß AWF erforderliche Attribute mit den Auftraggebern, Betreibenden und gegebenenfalls der Zertifizierungsstelle/ den Zertifizierenden abzustimmen,
- die Rückbaufähigkeit (z. B. Lösbarkeit von Verbindungen) als Attribut zu hinterlegen,
- Modellanforderungen an digitale Plattformen für zirkuläre Stoffkreisläufe zu berücksichtigen.



Typ Eigenschaften

Familie: Generische Wand
Typ: Wand 1

Typ Attribute

Attribut	Wert
Konstruktion	
Aufbau	...
Dicke	0,38
Funktion	Außen

Identität

Typ Name	Außenwand
Hersteller	Firma AG
Beschreibung	
U-Wert	0,35 W/m ² K
Brandschutzklasse	A1
Kosten	300 eur/m ²
DIN-Kostengruppe	330
IFC-Typ	IfcWall

Aufbau

Typ: Wand 1

Schichten

Funktion	Material	Dicke
1 Beschichtung	Innenputz	0,01
2 Tragwerk	CLT	0,20
3 Dämmung	Steinwolle	0,15
4 Fassaden- verkleidung	Metall- paneel	0,02

Material

Funktion: Dämmung
Name: Steinwolle
Hersteller: Produkt GmbH

Attribut	Wert
Umweltwirkung	
GWP	

Ressourceneinsatz

Primärenergie	
Rohstoffaufwand	

Kreislauffähigkeit

wiederverwendbar	<input type="checkbox"/>
wiederverwertbar	<input type="checkbox"/>
downcycling	<input type="checkbox"/>
deponieren	<input type="checkbox"/>

Rückbaubarkeit

zerstörungsfrei	<input type="checkbox"/>
sortenrein	<input type="checkbox"/>

Abbildung 13: Exemplarischer Bauteilaufbau mit Attributen,
© Werner Sobek AG

Verknüpfung

Bei durch BIM modellierten Projekten beschreibt das **Information Delivery Manual** (IDM) den Prozess der Informationslieferung durch die beteiligten Personen, deren Verantwortlichkeiten und die zugehörigen Schnittstellen sowie Termine: „Wer benötigt wann von wem welche Information in welcher Qualität und in welcher Form?“

Es legt also die Informationsaustauschanforderungen, die sogenannten **Exchange Requirements** (ER), im Prozess fest. Diese sind hinsichtlich der nachhaltigen AWF zu ergänzen, um neue Verknüpfungen zu ermöglichen.

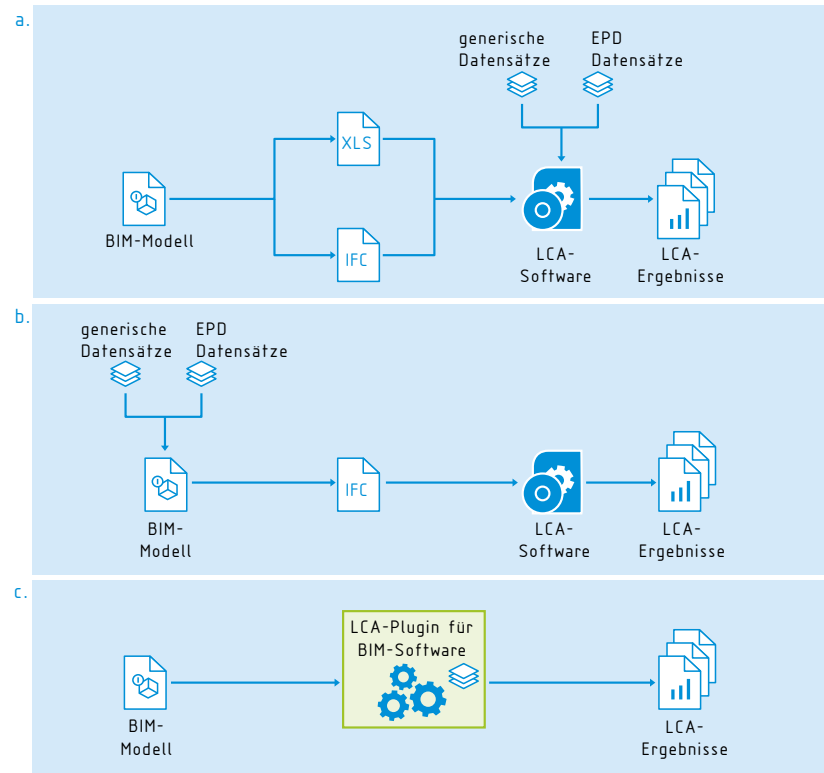


Abbildung 14: Mögliche Strategien zur Integration der Gebäudeökobilanz mit BIM, in Anlehnung an CC BY 3.0 Wastiels/Decuyper¹⁵

Um zukünftig eine automatisierte, modellbasierte Ökobilanzierung zu bieten, können z. B. folgende grundlegende Strategien verfolgt werden (vgl. Abbildung 14):

- a. Import der Modellobjekte (IFC) respektive Massen/Mengen (XLS) aus den Modellen in LCA-Softwareanwendungen, um sie dort mit hinterlegten Datensätzen zu verknüpfen und auszuwerten
- b. Direkte Anreicherung der Modellobjekte mit generischen oder EPD-Datensätzen, wodurch diese Objekte via IFC in einer LCA-Software verknüpft werden können
- c. Nutzung eines LCA-Plugins innerhalb der BIM-Software, das eine Verknüpfung der Modellobjekte mit den hinterlegten Datensätzen (teil-)automatisiert erstellt

Ähnliche Strategien können zur Erstellung von GRP, zur Ermittlung von LCC, für Verknüpfungen mit Simulationsanwendungen oder mit zukünftigen Optimierungswerkzeugen für nachhaltiges Bauen (evtl. KI-basiert) definiert werden.

Neben den Verknüpfungen zur modellbasierten Ökobilanzierung und Simulation in den Planungsphasen sind weitere Verknüpfungen im Lebenszyklus eines Bauwerks notwendig. Dazu gehören u. a. die Verknüpfungen von Modelldaten zu Plattformen für zirkuläre Stoffkreisläufe im Bausektor. Auf diesen digitalen Marktplätzen sollen Bauprodukte aus dem Rückbau, der Über-/Fehlbestellung beim Bau oder B-Ware angeboten werden. Die ersten Plattformen sind entwickelt, ihre Anwendung findet bereits statt. Bisher werden die Modellanforderungen von den einzelnen Plattformen festgelegt und sind daher bei der Erstellung von As-built-Modellen zu berücksichtigen.¹⁶ Trotz heutiger Unwägbarkeiten gilt es, diesen Plattformgedanken in die Breite zu tragen.

Günstigere Second-Hand-Bauprodukte können für zukünftige Planungen berücksichtigt, anfallende Rückbaukosten gesenkt und der Ressourcenverbrauch minimiert werden. Verbaute Bauprodukte sollten daher bereits jetzt stets digital dokumentiert werden, um zirkuläre Stoffkreisläufe zu ermöglichen.

Die digitale Erfassung und Dokumentation ermöglichen es perspektivisch, Gebäuderessourcenpässe für das einzelne Bauwerk auszustellen und bergen die Option, alle Bauwerke eines urbanen Raums bzw. dessen Bauprodukte in einer zentralen Datenbank zu erfassen. Das bildet die digitale Grundlage, um **Urban Mining** – also die integrale Bewirtschaftung des anthropogenen urbanen Rohstofflagers – zu realisieren. Für einzelne Bauverantwortliche wird auf diese Weise eine modellbasierte Nachhaltigkeitszertifizierung des Bauwerks und damit die Einhaltung der zukünftig geforderten Grenzwerte, die sich aus ESG-Anforderungen im Rahmen des Green Deals der EU ergeben werden, ermöglicht.

Projektbeispiele

The Q

Das Projekt umfasst die Revitalisierung eines ehemaligen Versandzentrums in Nürnberg, bei dem sich ein gemischt genutztes Quartier mit Handel-, Büro-, Wohn- und Sozialnutzung entwickelt. Das Bestandsgebäude aus der Nachkriegsmoderne steht unter Denkmalschutz und schuf somit einen baulichen Rahmen, der für die Belebung des Quartiers genutzt werden sollte.

Herausforderungen stellten – neben der Aktivierung des Quartiers – der selbst gestellte Anspruch an Nachhaltigkeit sowie der Umgang mit dem Denkmal, gerade im Hinblick auf die Vereinbarung der Fassadengestaltung mit den heutigen energetischen Standards, dar.



Abbildung 15: The Q. Visualisierung,
© kister scheidtauer gross architekten
und stadtplaner GmbH

Durch die große Gebäudetiefe war die Integration von Lichthöfen aufgrund der geänderten Nutzungsanforderungen unabdingbar und bot damit eine weitere Herausforderung an das statische Tragsystem.

Mithilfe der Planung mit BIM konnte im Voraus die Gegenüberstellung einer Umnutzung mit einem Neubau angestellt und daraus resultierende CO₂-Emissionen ermittelt werden. Auf Basis dieser Betrachtung wurde die Erkenntnis gewonnen, dass der Neubau ca. 160 % der verursachten Emissionen generiert hätte. In absoluten Zahlen belaufen sich die Einsparungen auf eine Summe von ungefähr 33.000 t CO₂-Äquivalenten.

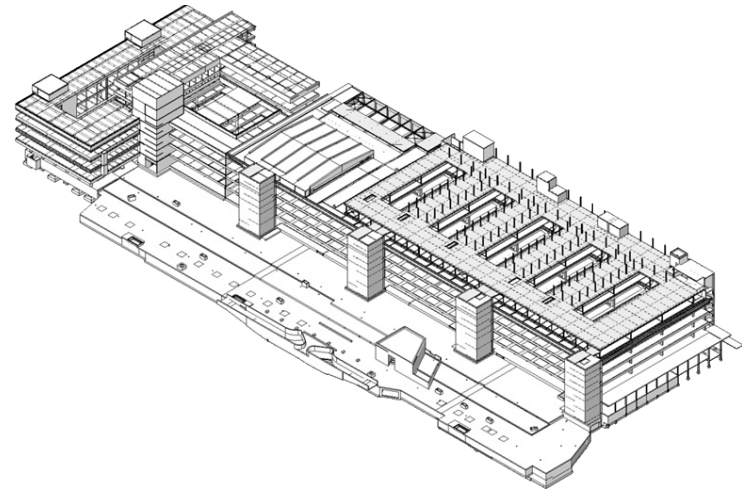


Abbildung 16: The Q. BIM-Modell, © Werner Sobek AG

The Q

Bauort
Bauverantwortlich
Architektur
Tragwerksplanung
Bruttogeschossfläche
Fertigstellung
Auszeichnungen

Nürnberg, Deutschland
 Gerch Nürnberg The Q GmbH
 Kister Scheithauer Gross Architekten
 Werner Sobek AG
 170.000 m²
 2024
 polis Award 2022

The Cradle

The Cradle ist ein sechsstöckiges Bürogebäude am Düsseldorfer Medienhafen, das auf dem Cradle-to-Cradle-Prinzip (C2C) basiert und auf eine Holzhybrid-Bauweise setzt. Das erklärte Ziel ist es, Wiege der Innovation zu werden sowie Impulse für die Zukunft des Bauens zu bieten. Das planende Architekturbüro HPP wollte in enger Zusammenarbeit mit weiteren planenden Parteien bereits während früher Planungsphasen grundlegende Entscheidungen treffen, um möglichst nachhaltig zu handeln.

Bei der BIM-basierten Planung über alle Gewerke hinweg spielt vor allem die Interoperabilität der Planungsmodelle und deren stetiger Austausch eine wichtige Rolle.

Zum Einsatz kamen verschiedene Programme, der Datenaustausch erfolgte über die IFC-Schnittstellen. Das BIM-Modell dient hier als Grundlage für die bauphysikalischen Berechnungen und die detaillierte Mengenermittlung. Erstmals erfolgte die Integration des Kreislaufgedankens in die BIM-Planung.¹⁷

Den Materialien und Bauteilen wurde dafür im BIM-Modell eine individuelle Nummer zugeordnet. Durch diese eindeutige Identifikation lassen sich alle relevanten Daten in ein Materialkataster übertragen. Hierin werden die Informationen der eingesetzten Baustoffe und -produkte langfristig gespeichert.¹⁷



Abbildung 17: The Cradle BIM-Modell (Schnitt),
© HPP Architekten

So sind z. B. bei Um- oder Rückbau die Materialrestwerte, Rückbauoptionen, Recyclingfähigkeit und Separierbarkeit einsehbar. Durch die Verknüpfung zu weiteren Datenbanken lassen sich die Materialien zudem hinsichtlich Materialgesundheit und ökologischen Auswirkungen analysieren. Bauproduktherstellende profitieren dadurch, dass schon frühzeitig bekannt ist, welche Materialien zukünftig benötigt werden. Weiterhin können sie Bauteile demontieren, zurücknehmen, wiederverwenden oder sortenrein recyceln.¹⁷



Abbildung 18: The Cradle, Visualisierung, © INTERBODEN Gruppe/HPP Architekten; Visualisierung: bloomimages

The Cradle

Bauort	Medienhafen, Düsseldorf, Deutschland
Bauverantwortlich	Interboden Gruppe
Architektur	HPP Architekten
Tragwerksplanung	knippershelbig
Bruttogeschossfläche	7.200 m ²
Fertigstellung	2023
Auszeichnungen	u. a. Sonderpreis BIM Heinze ArchitektenAWARD 2020

Ehemalige Druckerei Essen

Die aufgrund einer Standortschließung leerstehende Fertigungshalle in Essen wurde digital erfasst, um Potenziale einer weiteren Nutzung zu untersuchen. Die Bestandsstruktur wurde mithilfe von Vermessungstools in ein virtuelles Gebäudemodell übersetzt, das auf Punktwolken als Grundlage basiert.

Die Vermessung und Bestandsmodellierung machen es unter anderem möglich, die Ökobilanzierung modellbasiert zu unterstützen und die Geometrien zu erfassen. Außerdem können Flächen nach der DIN 276 ausgewertet und Mietflächen ermittelt werden.



Abbildung 19: Ehemalige Druckerei Essen der Greyfield Group, © Greyfield Group

Der digitale Zwilling wird neben den Vermessungsdaten von 2D-Plänen ergänzt und mit weiteren Informationen gespeist. Auf dieser Basis können geometrische und semantische Informationen erzeugt werden, um ein BIM-basiertes As-built-Modell zu erstellen.

Dieses Modell bietet die Grundlage für den weiteren Planungsprozess und ermöglicht Variantenbildungen mit einer direkten Gegenüberstellung ausgewählter Parameter wie etwa dem Materialeinsatz oder den verursachten Emissionen.¹⁸

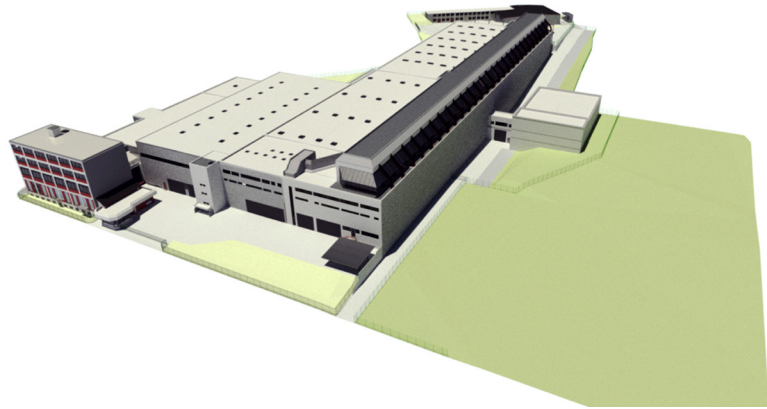


Abbildung 20: Ehemalige Druckerei Essen der Greyfield Group, BIM-Modell (Rendering), © intecplan Essen

Ehemalige Druckerei Essen der Greyfield Group

Bauort	Essen, Deutschland
Bauverantwortlich	Greyfield Group
BIM-Management	intecplan
Bruttogeschossfläche	30.000 m ²
Bearbeitungszeitraum	08/2021 - 04/2022

Zusammenfassung und Ausblick

Die umfassende Anwendung von BIM eröffnet den am Bau Beteiligten ein großes Potenzial an neuen Möglichkeiten und Chancen, gerade im Hinblick auf Nachhaltigkeit. BIM ermöglicht es, Bauwerke hinsichtlich ihrer Effizienz und Kosten umfassend zu optimieren. Durch die Integration neuer Attribute und die Implementierung von Hilfswerkzeugen (z. B. zur Ressourcen-/Emissionsermittlung) werden automatisierte Aufstellungen und Berechnungen ermöglicht und Variantenbildungen sowie direkte Vergleiche deutlich vereinfacht. Auf diese Weise wird eine schrittweise Annäherung an gewünschte Richtwerte erleichtert und der Arbeitsprozess im Allgemeinen optimiert.

Die Automatisierung dieser Prozesse hilft zudem dabei, Zeit und Kosten einzusparen. Außerdem wird die Anfertigung solcher Aufstellungen erleichtert. Sie können dadurch schnell(er) integraler Bestandteil des regel-

mäßigen Bearbeitungsprozesses und der normalen Arbeitsweise werden. Von dieser neuen Selbstverständlichkeit einer umfassenden Nachhaltigkeitsbetrachtung profitieren insbesondere kleine und mittlere Projekte, bei denen eine solche Betrachtung bislang aus wirtschaftlichen Gründen nicht oder nur in sehr begrenztem Umfang möglich war.

Die Integration des Nachhaltigkeitsaspekts in die Arbeit mit BIM entspricht angesichts der großen Herausforderungen, vor denen die Baubranche steht, dem nächsten logischen Schritt. Ein interdisziplinäres (Zusammen-)Arbeiten zahlreicher Sachverständiger ist dabei zugleich Voraussetzung und Garant für ein gemeinsames, lösungsorientiertes Handeln und einen erfolgreichen Projektabschluss.

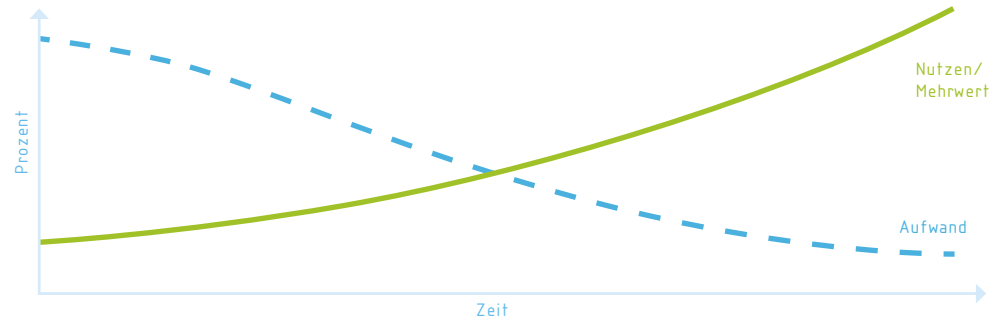


Abbildung 21: Aufwand-Mehrwert-Diagramm,
© Werner Sobek AG

BIM-basierte LCA und LCC

Sowohl die systematische Aufstellung von Umwelteinwirkungen eines Bauwerks in Form eines LCA bzw. einer Lebenszyklusanalyse als auch die Aufstellung der anfallenden Kosten durch die Methode des LCC – also einer Lebenszykluskostenrechnung – sind Tools, die sich in den letzten Jahren für eine Bewertung und Dokumentation von Bauwerkseigenschaften etabliert haben. Dabei schaffen sie Übersichtlichkeit ebenso wie Vergleichbarkeit der Kennwerte eines Bauwerks. Das Verfahren zur ganzheitlichen Betrachtung der Umweltauswirkungen über den Lebenszyklus wird in der DIN EN ISO 14040/14044 beschrieben.

Mithilfe der Integration von Nachhaltigkeitsattributen lassen sich Prozesse sukzessive automatisieren. Die bisher manuelle Berechnung der emittierten Grauen Emissionen sowie des Primärressourcenverbrauchs via Excel-Listen kann mit einer Verknüpfung der Produktinformationen in Form von Attributen im digitalen Modell automatisiert erfolgen und bei Bedarf anschließend tabellarisch ausgegeben werden. Die Attribute werden mit der Materialität verknüpft, die unter anderem die Materialherkunft sowie das EoL-Szenario der Baustoffe in sich tragen.

Diese direkte Verknüpfung mit dem virtuellen Bauwerksdatenmodell, die unmittelbar auf Änderungen der Kubatur und Konstruktion reagiert, erzeugt damit eine stets aktuelle Berechnung bezüglich der ökologischen Nachhaltigkeit eines Bauwerks und kann so die Entscheidungsfindung im Planungsprozess direkt beeinflussen. Zudem wird bereits früh im Prozess die Kooperation verschiedener Planungsbeteiligter gefördert und eine direkte Auswirkung gemeinsamer Lösungen sichtbar.

Zertifizierungen

Neben den reinen Aufstellungen zu Umwelteinflüssen von Gebäuden existieren Bewertungssysteme, die in der Regel von Drittanbietenden erstellt werden und einer neutralen Beurteilung von Bauwerken im Hinblick auf Nachhaltigkeitsaspekte dienen, indem dafür unterschiedliche Kriterien herangezogen werden.

Namhafte Bewertungs- und Zertifizierungssysteme sind u. a. das der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB), die US-amerikanische Leadership in Energy and Environmental Design-Zertifizierung (LEED) oder die britische Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM).

Viele dieser Zertifizierungssysteme basieren auf nationalen Rechtsgrundlagen und sind daher regional zu verorten.

Am Beispiel der DGNB-Zertifizierung lässt sich die Zielsetzung gut veranschaulichen. Zunächst ist das System in verschiedenen Varianten auf allen Maßstäben verfügbar. So können Quartiere, Gebäude oder auch nur Innenräume untersucht und bewertet werden.

Das System basiert inhaltlich auf drei wesentlichen Paradigmen: der Lebenszyklusbeachtung, dem ganzheitlichen Verständnis von Nachhaltigkeit und einer Performanceorientierung. Anders als bei der Aufstellung von LCAs fließen in die Betrachtung der DGNB-Zertifizierung neben dem ökologischen Aspekt ebenfalls ein ökonomischer und ein sozialer Anspruch sowie Prozess-, Standort- und technische Qualitäten in die Bewertung mit ein.¹⁹

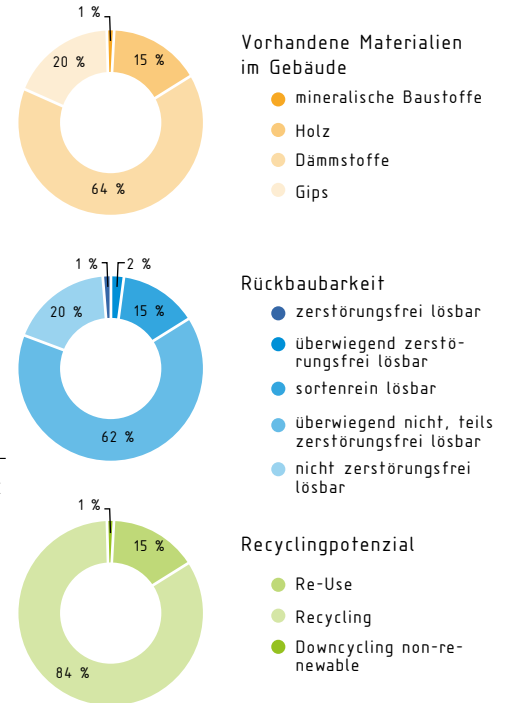


Abbildung 22: Ausschnitt eines Gebäuderessourcenpasses (Beispiel), © Werner Sobek AG

Gebäuderessourcenpass

Der digitale Gebäuderessourcenpass ist eine 2021 von der Bundesregierung angekündigte Maßnahme mit dem Ziel, eine gemeinsame, allgemeingültige Grundlage zu schaffen, um den Einsatz Grauer Energien und Emissionen sowie die Lebenszykluskosten stärker zu berücksichtigen und langfristig eine Kreislaufwirtschaft im Gebäudebereich zu erreichen.²⁰ Obwohl von Seiten der Regierung noch keine konkreten Aussagen bezüglich der Ausführung getroffen wurden, hat die DGNB bereits einen Pass mit möglichen inhaltlichen Betrachtungspunkten und Detailanforderungen veröffentlicht.²¹

Grundlegend sollen Ressourcenpässe ähnlich zum Energieausweis für Gebäude erstellt werden und wesentliche Informationen hinsichtlich Ressourcenverbrauch, Treibhauspotenzial und Kreislauffähigkeit beinhalten (vgl. Abbildung 22). Die notwendigen Informationen sollen gespeichert werden, um ein kreislauffähiges

Handeln zu fördern und Ressourcen bestmöglich zu nutzen. Dies könnte zukünftig Urban Mining erleichtern und bei Sanierung sowie Abbruch dazu beitragen, Ressourcen effizient zu nutzen. Der Gebäuderessourcenpass dient langfristig als Grundlage für eine konsistente Kreislaufwirtschaft im Bausektor und schafft eine Brücke zwischen frühen und späten Lebenszyklusphasen (Produktdesign und Produktrecycling). Damit das System funktioniert, werden Datentransparenz bezüglich der eingebauten Materialien und Bauteile, deren aktuellen Werten und Eigentumsverhältnissen benötigt.²²

Für ein nachhaltiges Gebäudemanagement mit einer umfassenden Ökobilanz ist der digitale Gebäuderessourcenpass daher essenziell. Die Erstellung eines solchen Passes kann das Verständnis für Entwicklung, Betrieb und EoL von Bauwerken nachhaltig verbessern. Zudem fördert ein solches Instrument nicht nur

Transparenz und Vertrauen, sondern trägt dazu bei, fundierte politische und finanzielle Entscheidungen zu treffen und stellt so sicher, dass Ressourcen effizient genutzt werden. Ein digitaler Gebäuderessourcenpass sollte in der Lage sein, den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks zu dokumentieren und einen nahtlosen Zugriff auf eine unlimitierte Datenmenge zu ermöglichen. Die Verwendung eines cloud-basierten Systems ermöglicht hier einen einfachen Zugriff und eine Zusammenarbeit aller Beteiligten aus der Ferne.²³

Es besteht die dringende Notwendigkeit, Nachhaltigkeitsbetrachtungen bei (Neu-)Bauprojekten in den Vordergrund zu stellen. Mittels politischer Instrumente wie beispielsweise der EU-Taxonomie, CO₂-Verbrauchsbegrenzungen oder zukünftig ggf. verpflichtende Gebäuderessourcenpässe können Anreize gesetzt werden, diese Aspekte bereits während der Bauplanung und -ausführung zu priorisieren.

Glossar

<p>AIA - Auftraggeber-Informations- anforderung</p>	<p>Anforderungen des/der Auftraggebenden an die Informationslieferungen der Auftragnehmenden unter Berücksichtigung der definierten BIM-Ziele und -Anwendungen</p>	<p>BCF - BIM Collaboration Format</p>	<p>Offenes Dateiformat basierend auf XML, das die Koordination in BIM-Prozessen unterstützt</p>
<p>Attribuierung</p>	<p>Auszeichnung von Modellelementen mit weiteren Informationen in Form eines Namens und dazugehörigen Werts</p>	<p>BIM - Building Information Modeling</p>	<p>Methodik zu Planung, Ausführung und Betrieb von Bauwerken mit kollaborativem Ansatz auf Grundlage eines digitalen Bauwerks-Informations-Modells zur gemeinschaftlichen Nutzung</p>
<p>BAP - BIM-Abwicklungsplan</p>	<p>Dokument, das die Grundlage einer BIM-basierten Zusammenarbeit im Projekt beschreibt. Der BIM-Abwicklungsplan legt die Ziele, die organisatorischen Strukturen und die Verantwortlichkeiten fest, stellt den Rahmen für die BIM-Leistungen und definiert die Prozesse sowie Austauschforderungen der einzelnen Beteiligten²⁴</p>	<p>CDE - Common Data Environment</p>	<p>Gemeinsame Datenumgebung (BIM-konforme Datenplattform)</p>
<p>Bauwerks-Informations- Modell</p>	<p>Objektbasierte digitale Abbildung der physischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks. Bei dem Begriff wird von einem koordinierten Gesamtmodell ausgegangen, das sich aus einem oder mehreren Fach- und Teilmodellen einzelner Fachplanender (Architekturmodell, Tragwerksmodell, TGA-Modell usw.) zusammensetzt; in der Regel zentraler BIM-Bestandteil</p>	<p>EPD - Environmental Product Declaration</p>	<p>Dokument, das die umweltrelevanten Eigenschaften eines bestimmten Produktes in Form von neutralen und objektiven Daten abbildet²⁵</p>
		<p>ESG - Environmental Social Governance</p>	<p>Kriterien aus den Bereichen Umwelt (Environmental), Soziales (Social) und verantwortungsvolle Unternehmensführung (Governance)</p>
		<p>GRP - Gebäuderessourcenpass</p>	<p>Dokument, in dem die individuellen wesentlichen Informationen rund um den Ressourcenverbrauch eines Projekts zusammenfasst sind</p>
		<p>GWP - Global Warming Potential</p>	<p>Erderwärmungspotenzial</p>

IFC - Industry Foundation Class	Unabhängiges, offenes Datenformat zum Austausch modellbasierter Daten und Informationen in Planungs-, Ausführungs- und Betriebsphasen	LOI - Level of Information	Informationsbedarfstiefe
LCA - Life Cycle Assessment	Ökobilanz; Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und potenzieller Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs ²⁶	LOIN - Level of Information Need	Alphanumerischer Detaillierungsgrad – Grad der Attribuierung der Modellelemente in fachspez. Bauwerksdatenmodellen
LCC - Life Cycle Costing	Lebenszykluskostenrechnung	Objektorientierte Modellierung	Konstruktion eines digitalen Modells mithilfe von Modellelementen wie Wänden und Türen, nicht auf Basis von Flächen und Linien. Diese Objekte besitzen neben der Geometrie auch weitere verknüpfte Informationen wie Material, physikalische Kennwerte. Konstruktion von Bauteilen als zusammenhängendes und verknüpftes Objekt mit Attributen in Abgrenzung zur traditionellen rein geometrischen Darstellung mit Hilfe einzelner Linien, Flächen und Volumen
Lean Construction	Während der Erstellung eines Bauprojektes gelebter kontinuierlicher Prozess zur Beseitigung von Verschwendung, für das Erreichen oder Übertreffen der Kundenerwartung, den Fokus auf den gesamten Wertstrom und das Streben nach Perfektion ¹¹	Ressource, hier verwendet für: natürliche Ressource	Hierzu zählen erneuerbare ebenso wie nicht erneuerbare Primärrohstoffe, physischer Raum (Fläche), Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), strömende Ressourcen (z. B. Erdwärme) sowie Biodiversität ²⁶
LOD - Level of Development	Fertigstellungsgrad der fachspez. Bauwerksmodelle zu einer bestimmten Projektphase und für die Freigabe der BIM-Anwendungen	TGA	Technische Gebäudeausrüstung
LOG - Level of Geometry	Geometrischer Detaillierungsgrad – Detaillierungsgrad geometrischer Modellelemente in fachspez. Bauwerksmodellen		

Literatur

- (1) **Weidner, S. (2022):** Weichen stellen für mehr Nachhaltigkeit: Warum Phase 0 so wichtig ist (Gastbeitrag) [abgerufen am: 14.12.2022], verfügbar unter: <https://live.leichtbau-bw.de/gastbeitrag-nachhaltiger-bauplanungsprozess/>
- (2) **Heinlein, F. (2019):** Recyclable by Werner Sobek, Stuttgart: av edition GmbH.
- (3) **Weidner, S. (2022):** Grundlagen für die Planung von ressourcenminimalen urbanen Strukturen, Dissertation Universität Stuttgart.
- (4) **VDI 4800 Blatt 1:2016-02:** Verein Deutscher Ingenieure e. V., Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- (5) **Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015):** Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken [abgerufen am: 14.12.2022], verfügbar unter: https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile
- (6) **VDI 2552 Blatt 1:2020:** Verein Deutscher Ingenieure e. V., Building Information Modeling – Grundlagen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- (7) **VDI 2552 Blatt 4:2020:** Verein Deutscher Ingenieure e. V., Building Information Modeling – Anforderungen und Datenaustausch, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- (8) **BIM Deutschland (2022):** Liste der standardisierten Anwendungsfallbezeichnungen [abgerufen am 14.12.2022], verfügbar unter: <https://www.bimdeutschland.de/bim-deutschland/liste-der-standardisierten-anwendungsfallbezeichnungen>
- (9) **Bundesministerium der Inneren, für Bau und Heimat (2021):** Masterplan BIM für Bundesbauten [abgerufen am 14.12.2022], verfügbar unter: https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/2021/10/masterplan-bim.pdf?sessionId=BA100CF59399F0BC4821BB09B107503E.1_cid364?__blob=publicationFile
- (10) **Bechmann, R., Feirabend, S. (2019):** "Digitalisierung als Schlüssel zu mehr Nachhaltigkeit" in: BIM – Building Information Modeling, S. 3, [abgerufen am: 14.12.2022], verfügbar unter: https://www.wernersobek.com/wp-content/uploads/2022/01/2019_11-Ernst-und-Sohn-buildingSMART_BIM-ist-kein-Selbstzweck-sondern-ein-Werkzeug_Sonderdruck.pdf
- (11) **Bartels, N. et al (2022):** Anwendung der BIM-Methode im nachhaltigen Bauen. Status Quo von Einsatzmöglichkeiten in der Praxis, Springer Verlag, Berlin.
- (12) **Koskela, L. (1992):** Application of the New Production Philosophy to Construction [abgerufen am: 14.12.2022], verfügbar unter: <https://stacks.stanford.edu/file/druid:kh328xt3298/TR072.pdf>
- (13) **buildingSMART Deutschland (2018):** Fachgruppe BIM und Nachhaltigkeit [online]. buildingSMART e. V. [abgerufen am: 10.01.2023], verfügbar unter: <http://www.bsde-tech.de/mitarbeiten/fachgruppen/fg-nachhaltigkeit/>
- (14) **Sibenik, G.; Schutzenhofer S. und Sreckovic, M. (2022):** Digitalizing Building's End-of-Life [abgerufen am: 28.11.2022], verfügbar unter: <https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/81307>

- (15) **Wastiels, L.; Decuypere, R. (2019):** Identification and comparison of LCA-BIM integration strategies [online], IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 323, CC BY 3.0 [abgerufen am 31.01.2023], verfügbar unter: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/323/1/012101/pdf>
- (16) **Madaster Germany (2022):** IFC-Parameter für die Madaster Plattform [abgerufen am 14.12.2022], verfügbar unter: <https://docs.madaster.com/files/de/IFC%20Parameter.pdf>
- (17) **Baunetz (o. D.):** Bürogebäude The Cradle in Düsseldorf [online] - Gesamtlebenszyklusbetrachtung und BIM erstmals vereint. Heinze GmbH [abgerufen am: 10.01.2023], verfügbar unter: <https://www.baunetzwissen.de/bim/objekte/buero-verwaltung/bueroegebaeude-the-cradle-in-duesseldorf-7450135>
- (18) **List-Gruppe (2022):** ehem. Druckerei Essen [abgerufen am: 14.12.2022], verfügbar unter: <https://www.list-gruppe.de/projekt/ehem-funke-druckerei-essen/>
- (19) **DGNB (2022):** Das DGNB Zertifizierungssystem [abgerufen am: 14.12.2022], verfügbar unter: <https://www.dgnb-system.de/de/system/index.php>
- (20) **DGNB (2022):** Beispielentwurf des Gebäuderessourcenpasses [abgerufen am: 14.12.2022], verfügbar unter: https://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-ev/de/themen/gebaeuderessourcenpass/DGNB_GRP_Beispielentwurf.pdf
- (21) **Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2021):** Koalitionsvertrag der Ampel-Koalition aus SPD, Grüne und FDP für die Wahlperiode 2021–2025 – Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland, Berlin [abgerufen am: 31.10.2022], verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/gesetzesvorhaben/koalitionsvertrag-2021-1990800>
- (22) **DGNB (2022):** Gebäuderessourcenpass – Entwurf der DGNB [abgerufen am: 14.12.2022], verfügbar unter: <https://www.dgnb.de/de/themen/gebaeuderessourcenpass/index.php>
- (23) **Madaster Germany (2022):** Forderungen an einen digitalen Gebäuderessourcenpass [abgerufen am: 14.12.2022], verfügbar unter: <https://madaster.de/gebaeuderessourcenpass/>
- (24) **VDI 2552 Blatt 2:2022-08:** Verein Deutscher Ingenieure e. V., Building Information Modeling, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- (25) **Institut Bauen und Umwelt e. V. (o. D.):** Was ist eine EPD? [abgerufen am: 12.01.2023], verfügbar unter: <https://ibu-epd.com/was-ist-eine-epd/>
- (26) **Umweltbundesamt (2012):** Glossar zum Ressourcenschutz [abgerufen am: 14.12.2022], verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4242.pdf>



VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)

Bülowstraße 78

10783 Berlin

Tel. +49 30-2759506-0

zre-info@vdi.de

www.ressource-deutschland.de

Diese Broschüre wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz erstellt.