Bundesministerium
für Verkehr

BUNDES
FERN
STRASSEN
DIGITAL

BIM-GESTÜTZTE NACHHALTIGKEITSANALYSEN VON INFRASTRUKTUREN

Praxisdokument
Version 1.0

BIM
BUNDES
FERN
STRASSEN

Inhaltsverzeichnis

Überblick über die Praxisdokumente **2**

1 Kurzfassung **4**

2 Einleitung **5**
2.1 Motivation 5
2.2 Vorgehen 6
2.3 Herausforderungen 7

3 Nachhaltigkeitsanalysen **8**
3.1 Nachhaltige Entwicklung im Bauwesen 8
3.2 Baubezogene Nachhaltigkeitsbewertungssysteme 9
3.3 Integration BIM und Nachhaltigkeit 11

4 Konzeptionsrahmen **17**
4.1 Betrachtungsweise 17
4.2 Umsetzungsverfahren 17
4.2.1 Verknüpfung BIM-Modellelemente und Datenbanken 18
4.2.2 Verknüpfung BIM-Modelle und GIS 20
4.2.3 Analyse Geometrie BIM-Modell 22
4.2.4 Verknüpfung BIM-Modellelemente und Dokumente 24
4.2.5 Analyse Attribute BIM-Modell 26

5 Indikatorauswahl und -beurteilung **28**
5.1 Zielsetzung 28
5.2 Vorgehen 28
5.3 Bewertete Indikatoren 30

6 Handlungsempfehlungen **32**
6.1 Weiterentwicklung der Indikatoren 32
6.1.1 Nutzen 32
6.1.2 Bewertungszeitpunkt 32
6.1.3 Automatisierung 33
6.1.4 Anpassung und Weiterentwicklung 34
6.2 Methoden 35
6.3 Anforderungsdefinition 36

7 Anhang A: Indikatorübersicht **37**

8 Anhang B: Begriffe **61**

9 Abbildungsverzeichnis **63**

10 Tabellenverzeichnis **64**

Überblick über die Praxisdokumente

Das hier vorliegende Praxisdokument „BIM-gestützte Nachhaltigkeitsanalysen von Infrastrukturen“ ist Teil der Dokumente des Masterplans BIM Bundesfernstraßen, die zusammengenommen den bundeseinheitlichen Rahmen für die Einführungen der BIM-Methode als Standard und Regelprozess bei der Planung, beim Bau und beim Betrieb von Bundesfernstraßen bilden.

Die Praxisdokumente schlagen Herangehensweisen zur Bearbeitung spezifischer Themen vor, die dazu beitragen, die mit der einheitlichen Implementierung der BIM-Methode verbundenen Ziele noch besser zu erreichen. Der Masterplan BIM Bundesfernstraßen benennt fünf strategische Ziele für die einheitliche Implementierung der digitalen Arbeitsmethode BIM:

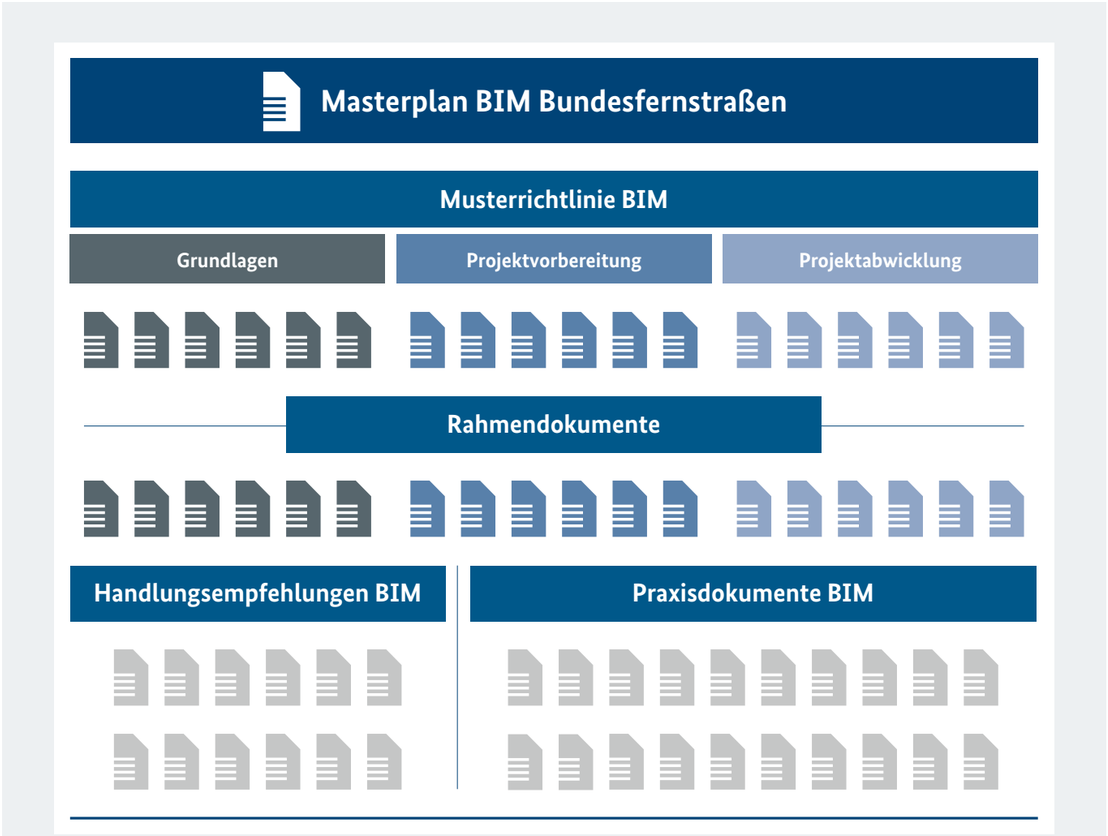
1. Wirtschaftlichkeit, Termin- und Kostenstabilität erhöhen,
2. Nachhaltigkeit optimieren,
3. Kommunikation durch erleichtertes Zusammenwirken verbessern,
4. herstellerneutrales, modellbasiertes und zentrales Datenmanagement einführen,
5. BIM-Implementierung harmonisieren und standardisieren.

Darüber hinaus stellen die Praxisdokumente ein wesentliches Medium für den Erfahrungsaustausch hinsichtlich der BIM-Implementierung in den Organisationen und in den Projekten dar.

Die Praxisdokumente ordnen sich wie in der Übersicht dargestellt in die Hierarchie der Dokumente des Masterplans BIM Bundesfernstraßen ein.

Bei der Erarbeitung des bundesweit einheitlichen Rahmens werden sowohl die Erfahrungen aus den bereits abgeschlossenen und den noch laufenden Pilotprojekten als auch die Beiträge aus der kontinuierlichen Beteiligung aller Akteure der BIM-Implementierung berücksichtigt. Zugleich werden die allgemeinen Entwicklungen der BIM-Methode bei der nationalen und internationalen Standardisierung beachtet. Somit spiegeln die Dokumente den jeweiligen Stand der Technik und die Fortschritte bei der Standardisierung von BIM zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider.

Weitergehende Erläuterungen zu den Dokumenten des Masterplans BIM Bundesfernstraßen finden sich in der Publikation „Überblick über die Dokumente“ des Masterplans BIM Bundesfernstraßen, die unter www.bundesfernstrassen-digital.de/bim/publikationen zum Download zur Verfügung steht.



Übersicht über die Struktur der Dokumente des Masterplans BIM Bundesfernstraßen

1 Kurzfassung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird die Verknüpfung von digitalen Methoden des Bauwesens mit Nachhaltigkeitsanalysen im Verkehrssektor untersucht und konzeptioniert. Da Straßen, Brücken und Tunnel die Grundlage für unsere Mobilität bilden, müssen die Auswirkungen von Bau- und Erhaltungsmaßnahmen auf Verkehr und Umwelt genau beachtet werden. Das Projekt hat zum Ziel herauszufinden, wie die digitale Planungsmethode des Building Information Modelings (BIM) und Geoinformationssysteme (GIS) dabei helfen können, Nachhaltigkeitsanalysen effizient durchzuführen sowie damit über den gesamten Lebenszyklus von Infrastrukturprojekten zu projektspezifisch optimierten Entscheidungen beizutragen.

Das Kernstück des Forschungsprojekts ist die Entwicklung eines Konzeptionierungsrahmens, der aufzeigt, wie Nachhaltigkeitsindikatoren möglichst (teil-)automatisiert berechnet werden können. Indikatoren sind dabei Instrumente, um Sachverhalte wie die Höhe von Umweltauswirkungen, Flächeninanspruchnahme oder Risiken von Naturgefahren messbar zu machen. Es werden fünf verschiedene Umsetzungsverfahren definiert, die beschreiben, wie digitale Daten aus BIM-Modellen und GIS für die Indikatorberechnung genutzt werden können.

Beispiele sind die Verknüpfung von Modellelementen mit Datenbanken zur Berechnung des Treibhauspotenzials, die Analyse der Geometrie zur Prüfung der Anprallgefahr oder die Verknüpfung mit Geoinformationen zur Ermittlung der Flächeninanspruchnahme.

Auf der Grundlage bereits vorliegender Ansätze für die Nachhaltigkeitsanalyse von Infrastrukturen werden über 400 bestehende Nachhaltigkeitsindikatoren analysiert und für eine Automatisierung geeignete Indikatoren im Hinblick auf ihr Nutzen-Aufwand-Verhältnis für eine automatisierte Berechnung bewertet. Das Forschungsprojekt gibt konkrete Handlungsempfehlungen, welche Indikatoren sich besonders für eine BIM- und GIS-gestützte Bewertung eignen. Eine zentrale Voraussetzung für eine Umsetzung ist die frühzeitige Definition der benötigten Informationsanforderungen, damit die digitalen Modelle von Beginn an alle erforderlichen Daten für die Nachhaltigkeitsanalyse enthalten. Auf diese Weise leistet das Forschungsprojekt einen Beitrag zu den Zielen des Masterplans BIM Bundesfernstraßen.

2 Einleitung

2.1 Motivation

Die Themenbereiche Digitalisierung und nachhaltige Entwicklung sind zwei Megatrends unserer Zeit. Speziell im Verkehrssektor spielen sie und ihre Verknüpfung miteinander eine entscheidende Rolle, da Straßen, Brücken und Tunnel eine Basis für unsere vernetzte Mobilität und Logistik darstellen. Um bei der Durchführung von Bau- und Erhaltungsmaßnahmen die Auswirkungen auf Verkehr, Umwelt und Klima sowie auf die Stakeholder in unserer Gesellschaft zu minimieren, sind verschiedene Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zu beachten. Für die Beschreibung der Wechselwirkungen müssen eine Vielzahl an Daten erhoben bzw. generiert werden. Diese können verwendet werden, um die beschriebenen Sachverhalte im Rahmen von Nachhaltigkeitsanalysen messbar zu machen und die Ergebnisse für informierte Entscheidungen zu verwenden.

Die Methode des Building Information Modelings (BIM) sowie Geoinformationssysteme (GIS) werden zukünftig wichtige Datenlieferanten sein. Eine Grundlage für deren flächendeckende Anwendung stellt der Masterplan BIM Bundesfernstraßen dar. Um den Nutzen der BIM-Methode voll zu entwickeln, müssen die existierenden Daten zielgerichtet und effizient in Planungs- und Ausführungsprozessen eingesetzt werden. Wenn eine Verwendung der Daten für mehrere BIM-Anwendungsfälle oder zur Ermittlung von Nachhaltigkeitsindikatoren erfolgen kann, lassen sich Effizienzsteigerungen erreichen. Ein erstes Praxisdokument mit einem Fokus auf der Nutzung von BIM-Modellen für die Erstellung von Ökobilanzen ist bereits von BIM Bundesfernstraßen veröffentlicht worden[1].

Darüber hinaus werden zukünftig die regulativen Anforderungen an Nachhaltigkeitsanalysen steigen. Ein wichtiger und in der politischen Bedeutung derzeit hoch angesiedelter Indikator ist das Treibhauspotenzial. Aus der Novelle des Klimaschutzgesetzes aus dem Jahr 2024 ergeben sich bereits verschiedene Anforderungen, die auch im Verkehrssektor anzuwenden sind. Bei der Planung, Auswahl und Durchführung von Investitionen ist zu prüfen, ob und wie zur Treibhausgasreduzierung über den gesamten Lebenszyklus beigetragen werden kann. Dabei sollen erhöhte Baukosten der Treibhausgasminderung gegenübergestellt werden. Aus dieser Vorgabe ergibt sich, dass eine Ökobilanzierung zur Schaffung einer Entscheidungsbasis durchgeführt werden muss.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wird die BIM-Methode mit der Nachhaltigkeitsanalyse verknüpft, um zu untersuchen, wie die BIM-Methode (im Besonderen digitale Modelle) über den Lebenszyklus von Straßeninfrastrukturprojekten bei Nachhaltigkeitsabwägungen und Effizienzverbesserungen unterstützen kann. Auf diese Weise leistet das Forschungsprojekt einen Beitrag zu den Zielen des Masterplans BIM Bundesfernstraßen.

[1] BMDV (2023): Modellbasierte Nachhaltigkeitsbewertung. Praxisdokument veröffentlicht im Rahmen von BIM Bundesfernstraßen, erarbeitet von Alexander Schnorbus et al. BIM Bundesfernstraßen, Berlin, November 2023.

2.2 Vorgehen

Nachhaltigkeitsbewertungen stellen insbesondere im Hochbau einen wichtigen Bestandteil der Entscheidungsfindung dar. Für deutsche Verkehrsinfrastrukturen wird eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung momentan noch nicht durchgeführt, u. a. da keine allgemein anerkannten Bewertungssysteme eingeführt sind und die Berechnungen aufgrund von fehlenden Automatisierungen (noch) mit hohem händischen Aufwand durchgeführt werden müssen. Es besteht allerdings bereits eine umfassende Grundlage von Indikatoren, die für Nachhaltigkeitsanalysen von verschiedenen Infrastrukturelementen eingesetzt werden können. Ein Indikator ist in diesem Zusammenhang ein messbares, quantifizierbares Merkmal, das Informationen über den Zielerreichungsgrad eines spezifischen Teilkriteriums liefert. In der Nachhaltigkeitsbewertung werden mehrere Indikatoren aggregiert, um eine umfassende Bewertung eines komplexen Kriteriums zu ermöglichen. Diese Aggregation erlaubt es, unterschiedliche Dimensionen oder Facetten des Kriteriums zu berücksichtigen, wodurch eine differenzierte Analyse des Gesamtzustands oder der Gesamtentwicklung einer Verkehrsinfrastrukturanlage über den Lebenszyklus erreicht wird. Auf Grundlage dieser Randbedingungen werden in diesem Praxisdokument die folgenden Ergebnisse erarbeitet:

1. Eine Übersicht über verschiedene Indikatoren wird erstellt und es wird eingeschätzt, welche bereits definierten Nachhaltigkeitsindikatoren aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten sowie aus Richtlinien für Verkehrsinfrastrukturprojekte geeignet sind, um in Kombination mit digitalen Methoden einen zusätzlichen Nutzen im Zuge von Nachhaltigkeitsanalysen zu schaffen. Dabei werden Indikatoren aus allen Dimensionen der Nachhaltigkeit betrachtet – es geht also nicht nur um Umweltaspekte, sondern auch um wirtschaftliche und soziale Faktoren.
2. Die Indikatoren mit einem hohen Automatisierungspotenzial, welches durch Verwendung digitaler Eingangsdaten und computergestützter Berechnungsprozesse entsteht, werden identifiziert und bezüglich ihres Nutzen-Aufwand-Verhältnisses eingeordnet.
3. Es werden fünf verschiedene Kategorien definiert, die unterschiedliche Arten der Ergebnisermittlung und dafür erforderliche Daten beinhalten (geometrische Informationen, Attribute von BIM-Modellelementen, GIS-Informationen, verknüpfte Daten aus Dokumenten und Datenbanken).
4. Abschließend werden Handlungsempfehlungen gegeben, wie eine Implementierung in Projekten erfolgen kann und welche weiteren Entwicklungsschritte erforderlich sind.

Das Zielbild der automatisierten Ermittlung der Indikatorenergebnisse ist in Abbildung 1 visualisiert. Hierdurch kann die effiziente Nutzung der BIM-Methode für Nachhaltigkeitsanalysen umgesetzt werden.

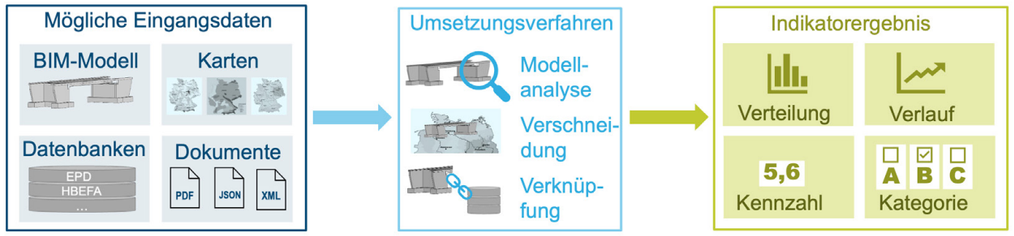


Abbildung 1: Verfahrensablauf für die Integration von BIM und Nachhaltigkeitsanalysen

2.3 Herausforderungen

Obwohl die ersten Nachhaltigkeitsbewertungssysteme für Hochbauten seit dem Jahr 2009 auf dem Markt in Deutschland verfügbar sind und die Einführung der BIM-Methode im Stufenplan Digitales Planen und Bauen im Jahr 2015 beschrieben wird, steht die Verknüpfung dieser beiden Themenfelder noch am Anfang. Die Gründe hierfür sind in mehreren Herausforderungen zu finden:

1. Nachhaltigkeitsanalysen tragen vor allem in frühen Planungsphasen, in denen die Projektrandbedingungen noch nicht vollumfänglich definiert sind, zu einer Entscheidungsunterstützung bei. Speziell in diesen Phasen liegen allerdings wenige oder keine BIM-Modelle und nur grobe Informationen in Geoinformationssystemen vor.
2. Für Verkehrsinfrastrukturen sind gegenüber dem Hochbau angepasste Indikatoren zu verwenden. Da in Deutschland bisher kein Nachhaltigkeitsbewertungssystem mit Infrastrukturbezug eingeführt wurde, existiert bisher keine einheitliche und abgestimmte Basis für die anzuwendenden Indikatoren.
3. BIM-Experten, GIS-Spezialisten und Nachhaltigkeitsbewertungsfachleute kommen aus unterschiedlichen Domänen und besitzen i.d.R. sehr unterschiedliches Wissen. Die Erarbeitung von Integrationsansätzen kann daher nur in interdisziplinären Projektteams erfolgen.
4. Die Indikatorenberechnung muss je nach Infrastrukturelement (Straße, Brücke, Tunnel) und Leistungsphase angepasst werden. Eine verallgemeinerte Indikatorenbeschreibung kann damit nicht als Grundlage für die Anwendung in einem BIM- oder GIS-gestützten Prozess verwendet werden.
5. Die Steuerungswirkung von Indikatoren ist je nach Leistungsphase und Infrastrukturelement unterschiedlich. Die Nutzung aller Indikatoren in allen Leistungsphasen ist daher nicht immer zielführend.

3 Nachhaltigkeitsanalysen

3.1 Nachhaltige Entwicklung im Bauwesen

Die Nachhaltigkeitsbewertung ist ein Verfahren, das darauf abzielt, die ökologischen, sozialen und ökonomischen Auswirkungen eines Vorhabens über seinen gesamten Lebenszyklus zu erfassen und zu bewerten. Etabliert sind Nachhaltigkeitsbewertungssysteme insbesondere im Hochbau, international gibt es aber auch Anwendungen für Infrastrukturprojekte. Diese ganzheitliche Sichtweise ermöglicht es, sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft zu identifizieren und zu quantifizieren. Nachhaltigkeitsbewertungen sind von entscheidender Bedeutung, um Entscheidungen im Planungsprozess transparent zu machen und die Interessen aller Stakeholder zu berücksichtigen. Dabei werden verschiedene Kriterien und Indikatoren verwendet, die unterschiedliche Dimensionen der Nachhaltigkeit abdecken, wie beispielsweise Ressourcenschonung, Lebensqualität, soziokulturelle Aspekte und ökonomische Faktoren. Ziel der Nachhaltigkeitsbewertung ist es, eine ausgewogene Entwicklung zu fördern, die den Bedürfnissen der gegenwärtigen Generationen gerecht wird, ohne künftige Generationen zu gefährden.

Im Kontext der internationalen Bewertungssysteme für Nachhaltigkeit sind mehrere Methoden und Standards etabliert worden, die jeweils spezifische Ansätze zur Bewertung von Infrastrukturprojekten bieten. Diese Systeme zeigen auf, dass Nachhaltigkeitsbewertung ein multidimensionaler und kontextabhängiger Prozess ist, der in verschiedenen Ländern und für unterschiedliche Arten von Projekten adaptiert wird. Sie sind wichtige Werkzeuge, um sicherzustellen, dass Infrastrukturprojekte nicht nur kurzfristigen Nutzen bringen, sondern auch langfristige positive Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft erzielen.

Im Rahmen der nationalen Forschung zur Nachhaltigkeitsbewertung von Verkehrsinfrastrukturprojekten in Deutschland wurden zuerst die Grundlagen für eine mögliche Implementierung von Bewertungssystemen erarbeitet, die darauf abzielen, nachhaltige Praktiken in der Planung und im Bau von Verkehrsinfrastrukturprojekten zu fördern. Verschiedene Forschungsprojekte haben innovative Ansätze hervorgebracht, die Prinzipien der Nachhaltigkeit, die im Hochbau bereits etabliert sind, auch auf die Verkehrsinfrastruktur übertragen. Hierbei wurde ein modularer Aufbau angestrebt, durch den unterschiedliche Dimensionen der Nachhaltigkeit zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Lebenszyklus unterschiedlich stark berücksichtigt werden. Die nationale Forschung zielt darauf ab, ein konsistentes und umfassendes Bewertungssystem zu schaffen, das ökologische, ökonomische und soziale Aspekte integriert. Die Forschung hat sich bereits intensiv mit spezifischen Teilmodulen, wie Brücken, Tunnel und Straßenabschnitten, auseinandergesetzt und Bewertungsansätze für eine ganzheitliche, lebenszyklusbasierte Nachhaltigkeitsbewertung erarbeitet. Ein zentrales Element des deutschen Bewertungsansatzes sind dabei die fünf Hauptkriteriengruppen: die ökologische Qualität, die ökonomische Qualität, die soziokulturelle und funktionale Qualität, die technische Qualität sowie die Prozessqualität. Für diese Hauptkriteriengruppen wurden jeweils verschiedene Bewertungskritierien und zugehörige Indikatoren identifiziert und Berechnungs- sowie Bewertungskriterien erarbeitet.

3.2 Baubezogene Nachhaltigkeitsbewertungssysteme

Das erarbeitete Bewertungssystem hat sich jedoch bisher nicht durchgesetzt. Es gibt aktuell keine verpflichtend durchzuführende ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung im Verkehrsinfrastrukturbau. Dennoch werden viele Nachhaltigkeitsaspekte durch etablierte Verfahren im Planungsprozess von Infrastrukturen, z. B. während der Bewertung im Rahmen des Bundesverkehrswegeplans auf einer Makroebene, der strategischen Umweltprüfung (SUP), der Umweltverträglichkeitsprüfung nach UVPG oder dem Variantenvergleich von Brückenbauwerken nach RAB-Ing berücksichtigt. Insgesamt ist das Erfordernis, Verkehrsinfrastrukturprojekte zukünftig lebenszyklusbasiert und nachhaltig zu bewerten, wie folgt zu begründen: Zunächst fördert eine solche Bewertung die Ressourcenschonung, da sie den gesamten Ressourceneinsatz und die Umweltauswirkungen über den Lebenszyklus hinweg analysiert. Zudem können Umweltbelastungen, wie Lärm und Luftverschmutzung, deutlich reduziert werden, indem ökologische Aspekte während des gesamten Betriebs berücksichtigt werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die soziale Akzeptanz. Nachhaltige Projekte, die die Bedürfnisse der Betroffenen berücksichtigen, werden eher akzeptiert. Auch die wirtschaftliche Effizienz spielt eine Rolle, denn Lebenszykluskostenanalysen helfen, die langfristigen Kosten zu verstehen und kosteneffiziente Lösungen zu finden. Des Weiteren ermöglichen lebenszyklusbasierte Bewertungen eine transparente Entscheidungsfindung, die sowohl die Nachvollziehbarkeit erhöht als auch Innovationen in der Planung fördert. Schließlich sorgt die Anpassung an zukünftige klimatische Herausforderungen für resilientere Infrastrukturen. Insgesamt trägt eine nachhaltige Bewertung dazu bei, Verkehrsinfrastrukturprojekte verantwortungsbewusst zu gestalten und sowohl ökologische als auch soziale und ökonomische Ziele zu erreichen.

Um im Rahmen des vorliegenden Projektes wesentliche Indikatoren zu identifizieren, die in die BIM-Methode integriert bzw. mit Hilfe der BIM-Methode berechnet werden können, wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Bewertungssysteme im Hinblick auf Relevanz untersucht. Hierbei lag der Fokus auf den verschiedenen Bewertungsansätzen, den Bewertungs- und Berechnungsmethoden und den zugehörigen Bewertungskriterien sowie ihren Indikatoren im Hinblick auf Infrastrukturprojekte.

Nr.	Land	System	Projektart	Bewertung	Gewählt
1	Deutschland	BNB	Hochbau	Das System ist auf Hochbauprojekte ausgerichtet. Es dient allerdings als Grundlage für das Bewertungssystem für Infrastrukturprojekte.	Nein
2		Forschungszyklus zur Nachhaltigkeitsbewertung für Verkehrsinfrastrukturen (BASt)	Infrastruktur	Verwendung des Systems für die weitere Betrachtung. Praxistauglichkeit für Infrastrukturprojekte ist noch nicht getestet.	Ja
3		DGNB – System für Quartiere	Hochbau	Ansätze des Systems wurden anhand eines Beispielprojektes geprüft und es liegen zum Teil konkrete Bewertungsansätze vor, die für das laufende Projekt verwendet werden können.	Ja
4	UK	BREEAM	Hochbau	Das System und die enthaltenen Indikatoren lassen sich nicht in Bezug zu den deutschen Systemen setzen, sodass eine Analyse der Indikatoren nicht sinnvoll erscheint.	Nein
5		CEEQUAL	Infrastruktur	Das System und die enthaltenen Indikatoren lassen sich nicht in Bezug zu den deutschen Systemen setzen, sodass eine Analyse der Indikatoren nicht sinnvoll erscheint.	Nein
6	USA	LEED v4 Neighborhood Development	Stadtteil Entwicklung	Das System und die enthaltenen Indikatoren lassen sich nicht in Bezug zu den deutschen Systemen setzen, sodass eine Analyse der Indikatoren nicht sinnvoll erscheint.	Nein
7		Greenroads Version 2	Infrastruktur	Das System und die enthaltenen Indikatoren lassen sich nicht in Bezug zu den deutschen Systemen setzen, sodass eine Analyse der Indikatoren nicht sinnvoll erscheint.	Nein
8		Envision	Infrastruktur	Das System und die enthaltenen Indikatoren lassen sich nicht in Bezug zu den deutschen Systemen setzen, sodass eine Analyse der Indikatoren nicht sinnvoll erscheint.	Nein
9	Schweiz	NISTRA	Infrastruktur	Nicht mit Systemen in Deutschland vergleichbar, eher keine Berücksichtigung.	Nein
10	Australien	IS	Infrastruktur	Das System und die enthaltenen Indikatoren lassen sich nicht in Bezug zu den deutschen Systemen setzen, sodass eine Analyse der Indikatoren nicht sinnvoll erscheint.	Nein

Tabelle 1: Internationale Nachhaltigkeitsbewertungssysteme

Die Ergebnisse der Literaturrecherche bilden die Grundlage für die in Kapitel 4 detailliert beschriebene Indikatorenauswahl.

3.3 Integration BIM und Nachhaltigkeit

Für die Kombination und Integration der Themenfelder „BIM“ und „Nachhaltigkeit im Bauwesen“ wurden bereits verschiedene Forschungsprojekte durchgeführt. Alle Forschungsprojekte haben dabei unterschiedliche Schwerpunkte gelegt und unterschiedliche Bereiche adressiert. Zur Abgrenzung und Einordnung werden die wichtigsten Forschungsprojekte zusammengefasst. Bei der Einordnung werden insbesondere die folgenden drei Aspekte betrachtet:

- Projekttyp: Welche Bereiche werden adressiert (Infrastruktur- oder Hochbau-Projekte)?
- Leistungsphasen: Welche Leistungsphasen werden betrachtet?
- Nachhaltigkeitsdimensionen: Welche der Nachhaltigkeitsdimensionen Ökonomie, Ökologie, Soziales, Technische Qualität und Prozessqualität werden betrachtet?

Die folgende Übersicht beinhaltet nur Forschungsprojekte, in denen explizit eine Integration untersucht bzw. Integrationsansätze für „BIM“ **und** „Nachhaltigkeit“ entwickelt wurden. Darüber hinaus existiert eine sehr große Anzahl an Projekten, Studien und Untersuchungen, die jeweils eines der beiden Themengebiete adressieren.

BIM und Nachhaltigkeit (11/2022 – 12/2023)

Kurzbeschreibung: Dieses Projekt konzentriert sich auf die Entwicklung einer modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung für Bundesfernstraßenbauwerke, wobei untersucht wird, wie bestehende Bewertungsverfahren und -kriterien zur Nachhaltigkeitsbetrachtung mithilfe der BIM-Methode abgebildet werden können. Auf Basis dieses Forschungsprojekts wurde das Praxisdokument „Modellbasierte Nachhaltigkeitsbewertung“ des BMDV entwickelt (Masterplan BIM Bundesfernstraßen V 1.0). Link: BuN | BIM und Nachhaltigkeit - RWTH AACHEN UNIVERSITY ICOM - Deutsch

Projekttyp	Lebenszyklusphasen	Nachhaltigkeitsdimensionen
Hochbau	**Planung**	Ökonomie
Infrastruktur – Strecke	**Bau**	**Ökologie**
Infrastruktur – Ingenieurbauwerke	Betrieb	Soziales
Sonstige Projekttypen		

Ökobilanzierung und BIM im Nachhaltigen Bauen (02/2019 – 12/2019)

Kurzbeschreibung: Das Projekt untersucht die Integration der Ökobilanzierung in die BIM-Methodik, um die Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden basierend auf digitalen Modellen zu verbessern.
Es betrachtet die technischen, organisatorischen und vertraglichen Voraussetzungen für eine effiziente Verknüpfung der ÖKOBAUDAT-Datenbank mit dem IFC-Datenmodell. Durch die vorgeschlagenen Anbindungsoptionen und Modellierungstechniken wird eine nahezu vollautomatisierte Erstellung der Gebäudeökobilanz angestrebt.
Link: BBSR - Ressortforschung - Ökobilanzierung und BIM im Nachhaltigen Bauen

Projekttyp	Lebenszyklusphasen	Nachhaltigkeitsdimensionen
Hochbau	**Planung**	Ökonomie
Infrastruktur – Strecke	**Bau**	**Ökologie**
Infrastruktur – Ingenieurbauwerke	Betrieb	Soziales
Sonstige Projekttypen		

Rain2BIM (12/2024 – 09/2025)

Kurzbeschreibung: Das Hauptziel besteht darin, auf Basis des BIM-Fachmodells Freianlage bereits in der (Vor-)Entwurfsphase den Variantenvergleich bei der Erstellung einer nachhaltigen blau-grünen Infrastruktur zu unterstützen. Abzubilden sind insbesondere Prozesse des Wassermanagements einschließlich Entwässerungsplanung und Regenwassernutzung, die Materialauswahl bei befestigten Flächen wie auch Wechselwirkungen mit der (Gebäude-)Begrünung. Synergien, wie die gleichzeitige Nutzung der Funktionen von Grünstrukturen zur Erhöhung der biologischen Diversität, zur Regenspeicherung und zur Verdunstung (so genannte Multikodierung) können so in eine Gesamtbewertung einfließen.
Link: BMDV - BIM-Referenzmodell Freianlagen inkl. Ökobilanzierung und Wirtschaftlichkeitsvergleich – Rain2BIM // Rain2BIM | Hochschule Osnabrück

Projekttyp	Lebenszyklusphasen	Nachhaltigkeitsdimensionen
Hochbau	**Planung**	**Ökonomie**
Infrastruktur – Strecke	Bau	**Ökologie**
Infrastruktur – Ingenieurbauwerke	Betrieb	Soziales
Sonstige Projekttypen		

IntegPlan (03/2021 – 02/2022)

Kurzbeschreibung: Auf Grundlage vorliegender Forschungsergebnisse wurde eine Kriterienliste zur ganzheitlichen Bewertung von Straßeninfrastrukturprojekten zusammengetragen. Im Rahmen von IntegPlan wurde erstmals der Automatisierungsgrad der Bewertung dieser Kriterien auf Basis bereits vorhandener Datenbankeinträge beurteilt. Daraus ergaben sich neue Eigenschaften, die BIM-Modelle und BIM-Elemente benötigen, um eine (teil-)automatisierte Bewertung zu ermöglichen.
Durch die Analyse von Bestandsdatenbanken konnten aber auch Erkenntnisse über noch fehlende Informationen und Schnittstellen gewonnen werden, die für eine ganzheitliche Lebenszyklusanalyse notwendig sind.
Link: https://edocs.tib.eu/files/e01fb23/1866212389.pdf

Projekttyp	Lebenszyklusphasen	Nachhaltigkeitsdimensionen
Hochbau	**Planung**	**Ökonomie**
Infrastruktur – Strecke	Bau	**Ökologie**
Infrastruktur – Ingenieurbauwerke	Betrieb	Soziales
Sonstige Projekttypen		

IntegBridge (2017 – 2021)

Kurzbeschreibung: Grundlegendes Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung von Berechnungsalgorithmen, die eine modellgestützte Ermittlung von ökonomischen, ökologischen und gesamtwirtschaftlichen Effekten im Lebenszyklus von Brückenbauwerken in frühen Planungsphasen ermöglichen. Für verschiedene Planungsphasen sollen Möglichkeiten erarbeitet werden, wie die (teil-)automatisierte Nutzung von Bauwerksmodelldaten in Lebenszyklusanalysen gelingen kann. Es wird ein Datenbankschema für Brückenbauteile erstellt und exemplarisch mit Inhalten für Stahlbauwerke gefüllt.
Link: KIT Stahl- und Leichtbau - Forschen - Integrale und ganzheitliche Planung von Straßenbrücken auf Basis von hierarchischen Modellen (IntegBridge, P 1281)

Projekttyp	Lebenszyklusphasen	Nachhaltigkeitsdimensionen
Hochbau	**Planung**	**Ökonomie**
Infrastruktur – Strecke	Bau	**Ökologie**
Infrastruktur – Ingenieurbauwerke	Betrieb	Soziales
Sonstige Projekttypen		

GreenInfraTwins (2023 – 2025)

Kurzbeschreibung: Die Entwicklung eines Digital Twins für nachhaltige Infrastrukturbauwerke ist Ziel dieses Forschungsvorhabens. Neben der Konzeption des Digital Twins zur Bewertung und Kommunikation der Nachhaltigkeit, steht die lebenszyklusbegleitende Erfassung von Daten zur Nachhaltigkeitsanalyse aus Planung, Bau und Monitoring von Bauwerken im Fokus. Die erfassten Daten sind Grundlage für weitergehende Auswertung und Verwertung für ein kreislaufgerechtes Ressourcenmanagement. Neben der Beschreibung zum Aufbau von Digital Twins werden diese auch an realen Projekten demonstriert und eine Möglichkeit aufgezeigt, wie eine Anwendung in der Betriebs- und Rückbauphase erfolgen kann.
Link: http://www.greeninfratwins.com/

Projekttyp	Lebenszyklusphasen	Nachhaltigkeitsdimensionen
Hochbau	Planung	**Ökonomie**
Infrastruktur – Strecke	Bau	**Ökologie**
Infrastruktur – Ingenieurbauwerke	**Betrieb**	Soziales
Sonstige Projekttypen		

ONIB (07/2017 – 01/2020)

Kurzbeschreibung: 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 die digitalen 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 die für eine Bewertung der Nachhaltigkeit erforderlichen aktuellen Daten aufweisen.
Link: Optimierung der Nachhaltigkeit von Bauwerken durch die Integration von Nachhaltigkeitsanforderungen in die digitale Methode Building Information Modeling

Projekttyp	Lebenszyklusphasen	Nachhaltigkeitsdimensionen
Hochbau	**Planung**	Ökonomie
Infrastruktur – Strecke	Bau	Ökologie
Infrastruktur – Ingenieurbauwerke	Betrieb	**Soziales**
Sonstige Projekttypen		

ecoFIM (11/2024 – 10/2026)

Kurzbeschreibung: Das Forschungsprojekt ecoFIM zielt darauf ab, die ökologische Nachhaltigkeit von Fabriken BIM-basiert und über deren gesamten Lebenszyklus hinweg ganzheitlich zu betrachten und zu bewerten. Um dieser Herausforderung gerecht zu werden, strebt das Projekt die Entwicklung eines standardisierten Vorgehens mithilfe eines Leitfadens zur anwendungsorientierten Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Fabriken durch Building Information Modeling (BIM) an. Dadurch wird es auch kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) ohne tiefgehende Vorkenntnisse ermöglicht, die Methodik zu implementieren.
Link: EcoFIM - RWTH AACHEN UNIVERSITY ICOM - Deutsch

Projekttyp	Lebenszyklusphasen	Nachhaltigkeitsdimensionen
Hochbau	**Planung**	Ökonomie
Infrastruktur – Strecke	**Bau**	**Ökologie**
Infrastruktur – Ingenieurbauwerke	**Betrieb**	Soziales
Sonstige Projekttypen		

SusInfra (08/2023 – 07/2026)

Kurzbeschreibung: Das Projekt SusInfra (Sustainability in Infrastructure) verfolgt das Ziel, die Nachhaltigkeitsbewertung und die Ressourceneffizienz im Bereich Straßenbau zu optimieren. Der Schwerpunkt dieses Projekts ist die Entwicklung eines KI-Systems, das eine umfassende Nachhaltigkeitsbewertung ermöglicht und gleichzeitig den effizienten Einsatz von Ressourcen in der Planung, Umsetzung und Wartung von Straßenbauprojekten unterstützt. Dabei dient ein digitales, objektorientiertes 3D-Straßenmodell als Datenbasis, welches über eine CDE-Plattform verwaltet wird. Zusätzlich erfolgt die Integration eines Datenbanksystems mit neu definierten Nachhaltigkeitskennwerten. Durch die Implementierung eines intelligenten Tools, das automatisiert Nachhaltigkeitsbewertungen durchführt, wird dieses System als erweitertes Modul in die CDE-Plattform integriert.
Link: SusInfra | Sustainability in Infrastructure - RWTH AACHEN UNIVERSITY ICOM - Deutsch

Projekttyp	Lebenszyklusphasen	Nachhaltigkeitsdimensionen
Hochbau	**Planung**	Ökonomie
Infrastruktur – Strecke	**Bau**	**Ökologie**
Infrastruktur – Ingenieurbauwerke	**Betrieb**	Soziales
Sonstige Projekttypen		

Viele der bisherigen Forschungsprojekte fokussieren auf die Verwendung der BIM-Methode zur Berechnung der Indikatoren ausschließlich für eine Ökobilanzierung, die jedoch nur einen Teil von Nachhaltigkeitsanalysen darstellt. Demgegenüber gab es bereits eine intensivere Auseinandersetzung mit der Anwendung der Ökobilanzmethode zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Lebenszyklus. Diese Schwerpunktlegung zeigt sich auch in der grafischen Verortung der Forschungsprojekte in Abbildung 2. Nachhaltigkeitsanalysen umfassen jedoch viele weitere Indikatoren in den drei Nachhaltigkeitsdimensionen (Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft/Soziales). Diese können mit Hilfe von verschiedenen Umsetzungsverfahren BIM-gestützt berechnet werden.

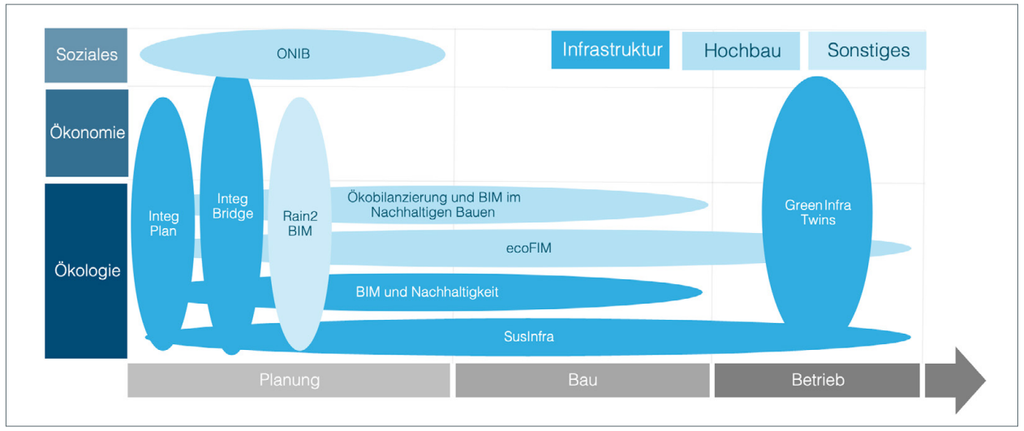


Abbildung 2: Schwerpunktlegung von Forschungsprojekten zur Integration der BIM-Methode in Prozesse der Nachhaltigkeitsanalysen

4 Konzeptionsrahmen

4.1 Betrachtungsweise

Die Nachhaltigkeit von Streckenzügen wird durch eine Vielzahl unterschiedlicher Indikatoren bestimmt. Eine manuelle Berechnung aller Indikatoren führt in der Praxis zu erheblichen Aufwänden. Durch den Einsatz der BIM-Methode, von GIS-Informationen und anderen Datenquellen können Nachhaltigkeitsindikatoren (teil-)automatisiert berechnet und für Entscheidungen aufbereitet werden, wodurch der projektspezifische Aufwand deutlich reduziert werden kann.

4.2 Umsetzungsverfahren

Um ein Indikatorergebnis zu berechnen, werden für jeden Indikator unterschiedliche Eingangsdaten und Berechnungsmethoden eingesetzt. Für den Indikator „Treibhauspotenzial des Streckenzugs" werden beispielsweise Datenbanken mit den Umweltwirkungen der Bauprodukte sowie BIM-Modelle der Straßen- und Infrastrukturbauwerke des Streckenzugs benötigt. Bei der Berechnung werden die Objekte des BIM-Modells mit den Datensätzen der Datenbanken verknüpft und die Umweltwirkungen der Bauprodukte mit den Mengen des BIM-Modells multipliziert, um das Treibhauspotenzial des Streckenzugs zu ermitteln.

Für die Berechnung des Indikators „Flächenzerschneidung" werden als Eingangsdaten der Streckenverlauf und eine Karte mit Feucht-, Trocken- und Waldlebensräumen benötigt. Bei der Berechnung werden der Streckenverlauf und die Karte überlagert, um die Zerschneidungslänge in Kilometern zu ermitteln.

Die beiden Indikatoren „Treibhauspotenzial" und „Flächenzerschneidung" werden also fundamental unterschiedlich berechnet. Bei anderen Indikatoren unterscheidet sich das Vorgehen nur geringfügig. So erfolgt die Berechnung der Lebenszykluskosten beispielsweise in großen Teilen analog zur Berechnung des Treibhauspotenzials. Der Hauptunterschied besteht darin, dass statt Umweltwirkungen Kostenansätze mit den Mengen der BIM-Modelle multipliziert werden. Ebenso lassen sich andere Indikatoren analog zur Flächenzerschneidung berechnen, indem der Streckenverlauf mit Flächenkulissen (z. B. Naturschutzgebieten) überlagert wird.

Im Folgenden werden fünf Umsetzungsverfahren definiert, die allgemein beschreiben, wie Indikatoren BIM- und GIS-gestützt berechnet werden können und welche Arten von Datenquellen hierfür verwendet werden. Die meisten Indikatoren können einem dieser Umsetzungsverfahren zugeordnet werden, wobei für einige Indikatoren auch eine Kombination unterschiedlicher Umsetzungsverfahren zum Einsatz kommen kann.

Um ein Ergebnis der Indikatorenberechnung möglichst automatisiert erzeugen zu können, müssen die Eingangsdaten in digitalisierter und computerinterpretierbarer Form vorliegen. Mögliche Eingangsdaten sind je nach Umsetzungsverfahren BIM-Modelle, GIS-Informationen, externe Datenbanken oder Dokumente. Die Berechnung kann beispielsweise eine Verschneidung von Karten, eine Verknüpfung von Daten oder eine Prüfung von Geometrien sein (siehe Abbildung 1).

4.2.1 Verknüpfung BIM-Modellelemente und Datenbanken

Allgemeines Vorgehen

Bei diesem Vorgehen werden die Elemente des BIM-Modells mit externen Datensätzen verknüpft, um Indikatorergebnisse zu berechnen. Je nach Indikator werden unterschiedliche Datenquellen benötigt. So werden für den Indikator „Treibhauspotenzial" die potenziellen Umweltwirkungen der einzelnen Bauprodukte benötigt, für den Indikator „Lebenszykluskosten" hingegen die Kostenansätze für die verschiedenen Bauprodukte. Diese Eingangsdaten sind in der Regel in Datenbanken verfügbar.

Die Verknüpfung zwischen BIM-Modellelementen und Datensätzen kann über unterschiedliche Detailworkflows realisiert werden. Beispielsweise kann in der Autorensoftware jedem BIM-Objekt die eindeutige Kennung des Datensatzes (UUID: Universally Unique Identifier) als Attribut zugewiesen werden. Alternativ kann die Verknüpfung zwischen BIM-Elementen und Datensätzen auch in einer externen Software erfolgen. Entscheidend ist, dass jedem zu berücksichtigenden BIM-Element ein Datensatz zugeordnet wird.

Neben den Datensätzen werden für die Berechnung auch die Mengen der BIM-Modellelemente benötigt. Diese können entweder aus der dreidimensionalen Geometriepräsentation der Objekte abgeleitet oder beim Export des BIM-Modells als berechnetes Attribut (in IFC: „Basequantities") übergeben werden.

Für das Indikatorergebnis werden die Mengen der Objekte mit den Datensätzen gemäß der Berechnungsvorschrift des jeweiligen Indikators verrechnet (siehe Abbildung 3).

Abbildung 3: Umsetzungsverfahren „Verknüpfung von BIM-Objekten mit externen Datenquellen"

Beispielumsetzung für den Indikator Treibhauspotenzial

Für die Berechnung der CO_2-Emissionen (Indikator Treibhauspotenzial) werden u.a. die Umweltwirkungen der verwendeten Bauprodukte benötigt. Die größte in Deutschland verfügbare Datenquelle zu Umweltwirkungen von Bauprodukten ist die ÖKOBAUDAT. Um BIM-Objekte mit einem oder mehreren ÖKOBAUDAT-Datensätzen zu verknüpfen, kann z. B. der (UUID) des Datensatzes dem Objekt als Attribut mitgegeben werden. Dies kann über eine Klassifikation in der Autorensoftware oder eine zusätzliche Software geschehen. Ein nachgeschalteter Berechnungsalgorithmus muss dann die Objekte den Datensätzen zuordnen, die Mengen des BIM-Modells in die Bezugseinheiten des ÖKOBAUDAT-Datensatzes umrechnen und anschließend die Mengen mit den Umweltwirkungen multiplizieren (siehe Abbildung 4). Je nach Berechnungsvorschrift und Systemgrenzen (z. B. Betrachtung des gesamten Lebenszyklus) werden weitere Eingangsdaten benötigt (z. B. Nutzungsdauern von Bauteilen, Baustellenprozesse etc.).

Abbildung 4: Beispielumsetzung für den Indikator Treibhauspotenzial

4.2.2 Verknüpfung BIM-Modelle und GIS

Allgemeines Vorgehen

Insbesondere in frühen Planungsphasen können viele Nachhaltigkeitsindikatoren durch eine Überlagerung der Trasse mit verschiedenen Flächenkulissen bewertet werden. Als Eingangsdaten werden hierfür die Trassenachse mit Zusatzinformationen (z. B. dem geplanten Regelquerschnitt der Trasse) sowie die entsprechenden Flächenkulissen (z. B. Starkregengebiete, Naturschutzgebiete, Wasserschutzgebiete, Flächennutzungsplan) benötigt (siehe Abbildung 5). Die Umsetzung erfolgt durch Verschneidung der Trasse mit der Flächenkulisse, um festzustellen, ob eine Beeinträchtigung bzw. ein erhöhtes Risiko vorliegt (z. B. für den Indikator Hochwasserschutz) bzw. wie groß diese Beeinträchtigung ist (z. B. für den Indikator Flächeninanspruchnahme)

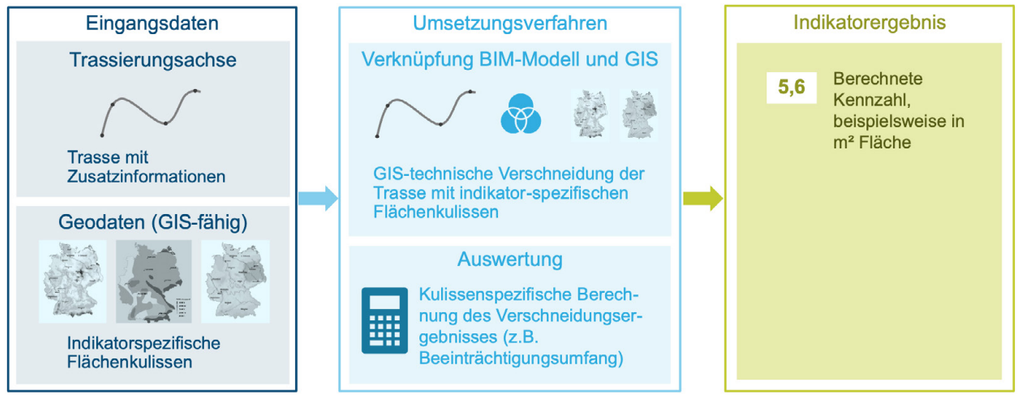


Abbildung 5: Umsetzungsverfahren „Verknüpfung von BIM und GIS“

Beispielumsetzung für den Indikator Flächeninanspruchnahme

Zur Berechnung der Flächeninanspruchnahme sind die Trassierungsachse mit Regelquerschnitt sowie die Versiegelungsfaktoren für die verschiedenen Teile des Regelquerschnitts erforderlich. Dabei gelten unter anderem folgende Faktoren: Fahrbahn = vollversiegelt (1,0), Bankett = unversiegelt (0,5). Zusätzlich wird ein Flächennutzungsplan mit hinterlegten Vornutzungsfaktoren benötigt. Dabei gelten unter anderem folgende Faktoren: Waldfläche (1,5), Erholungsfläche (1,3) und Verkehrsfläche (1,0). Durch die Verschneidung der Trasse mit dem Flächennutzungsplan und die Multiplikation der beeinträchtigten Flächen mit den Vornutzungs- und Versiegelungsfaktoren kann die gewichtete Flächenbilanz in Quadratkilometern berechnet werden. Diese gibt an, wie viel Fläche welcher vorherigen Qualität durch die Baumaßnahme in welchem Ausmaß in Anspruch genommen wird (siehe Abbildung 6).

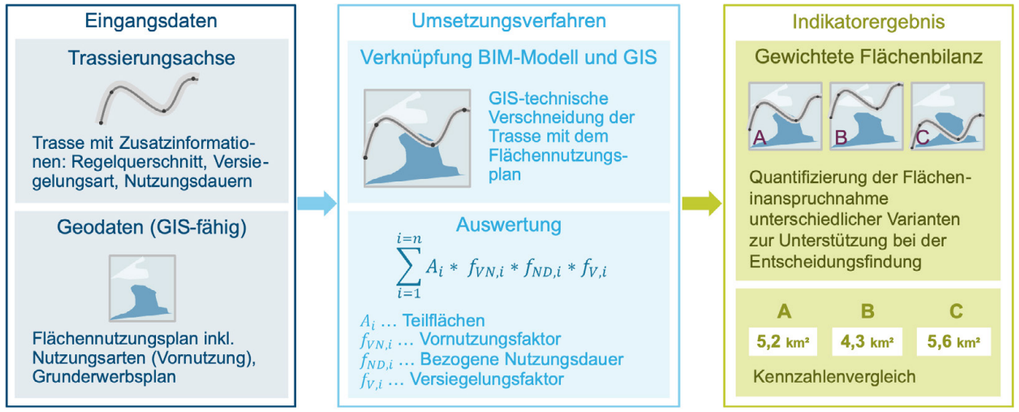


Abbildung 6: Beispielumsetzung für den Indikator Flächeninanspruchnahme

4.2.3 Analyse Geometrie BIM-Modell

Allgemeines Vorgehen

Einige Indikatorergebnisse können allein aus der Geometrie der Modellelemente abgeleitet werden. Das Umsetzungsverfahren „Analyse Geometrie BIM-Modell“ kann in zwei Teilumsetzungsverfahren unterteilt werden (siehe Abbildung 7). Zum einen kann überprüft werden, ob die Geometrien bestimmte Grenzwerte einhalten (z. B. für den Indikator „Ausfallsicherheit der Brücke“), zum anderen können aus der Geometrie geometrische Größen berechnet werden (z. B. für den Indikator „Erdbewegungen zur Herstellung des Geländeniveaus“).

Entscheidend für dieses Umsetzungsverfahren ist, dass die BIM-Objekte in einer für den Indikator geeigneten Geometrierepräsentation übergeben werden. Wird z. B. die Orientierung der Objekte (Winkel zwischen Fahrtrichtung und Fahrbahnübergang) für die Berechnung des Indikators benötigt, muss diese aus den Geometrierepräsentationen herausgelesen werden können, was bei expliziten Geometrierepräsentationen in der Regel nicht möglich ist.

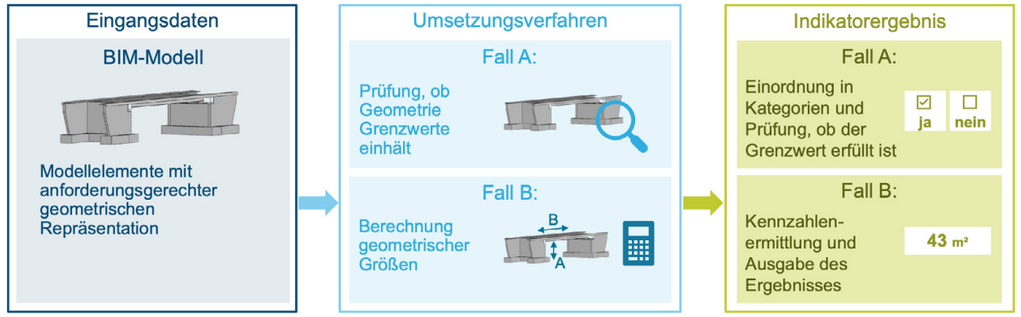


Abbildung 7: Umsetzungsverfahren „Analyse der Geometrie des BIM-Modells“

Beispielumsetzung für den Indikator Ausfallsicherheit der Brücke

Die Sicherheit einer Brücke gegen Fahrzeuganprall kann mit Hilfe eines erweiterten Lichtraumprofils bewertet werden. Als Eingangsdaten werden die Trassierung mit Regelquerschnitt des unteren Sachverhaltes (zur Generierung des Lichtraumprofils) sowie das BIM-Modell der Brücke benötigt. Aus den Abmessungen des Lichtraumprofils wird ein geometrischer Körper erzeugt (siehe Abbildung 8). Dieser Körper wird für eine Kollisionsprüfung mit dem Brückenmodell verwendet. Das Ergebnis ist, ob und welche (tragenden) Bauteile ein (erweitertes) Lichtraumprofil schneiden.

Abbildung 8: Beispielumsetzung für den Indikator „Ausfallsicherheit der Brücke“

4.2.4 Verknüpfung BIM-Modellelemente und Dokumente

Allgemeines Vorgehen

Neben Datenbanken lassen sich auch externe Dokumente mit dem BIM-Modell oder konkret einzelnen BIM-Objekten verknüpfen. In der Regel wird dies für Prozesse der Qualitätssicherung eingesetzt, deren Indikatoren im Rahmen der technischen Qualität und Prozessqualität in Nachhaltigkeitsbewertungssystemen verortet sind. Eine gute und dokumentierte Qualitätssicherung führt zu einer höheren Ausführungsqualität und damit zu langlebigen und wartungsfreundlichen Streckenzügen. Viele Indikatoren der Qualitätssicherung können durch die Verknüpfung von BIM-Modellen mit externen Dateien bewertet werden (siehe Abbildung 9). Für die Umsetzung muss jedes BIM-Objekt die Anforderungen, die während der Qualitätssicherung eingehalten werden müssen, als Attribute hinterlegt haben. Während der Qualitätssicherung werden die Ergebnisse dokumentiert und anschließend mit dem BIM-Modell verknüpft. Es wird bewertet, ob die entsprechenden Nachweisdokumente vorhanden sind und die enthaltenen Anforderungen erfüllt wurden.

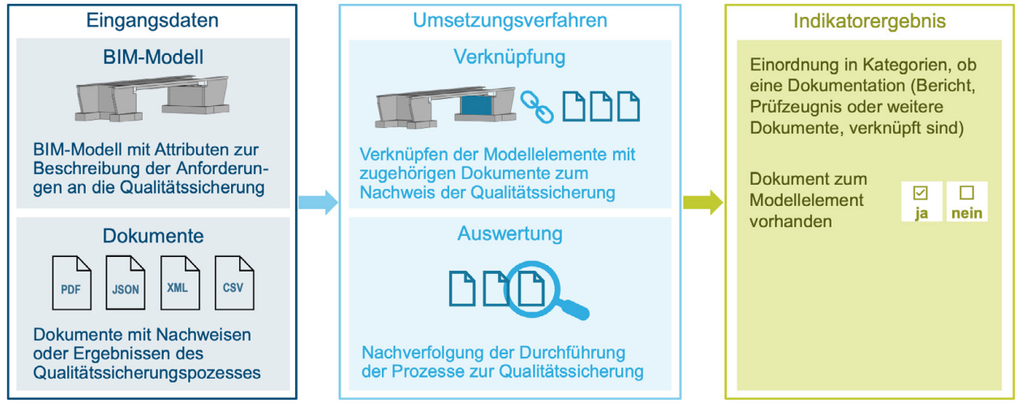


Abbildung 9: Umsetzungsverfahren „Verknüpfung von BIM-Modell mit externen Dokumenten/Dateien“

Beispielumsetzung für den Indikator Qualitätssicherung der Bauausführung hinsichtlich der Nachbehandlung von Beton

Für die Bewertung der Nachbehandlung von Beton wird ein BIM-Modell benötigt, in dem für jeden Betonierabschnitt mindestens ein BIM-Objekt definiert ist. Für jedes BIM-Objekt müssen die Anforderungen an die Nachbehandlung als Attribute definiert werden (z. B. Nachbehandlungsdauer). Während der Bauausführung werden die Informationen über die Nachbehandlung über ein digitales Formular erfasst und über eine Verortung mit dem BIM-Objekt verknüpft. Die aufgenommenen Informationen liegen nun als Datensatz sowie als digitales Dokument vor. Anschließend kann ausgewertet werden, ob die Nachbehandlung dokumentiert wurde und ob die Anforderungen eingehalten wurden (siehe Abbildung 10). Auf Basis der Datensätze können zusätzliche Auswertungen durchgeführt werden.

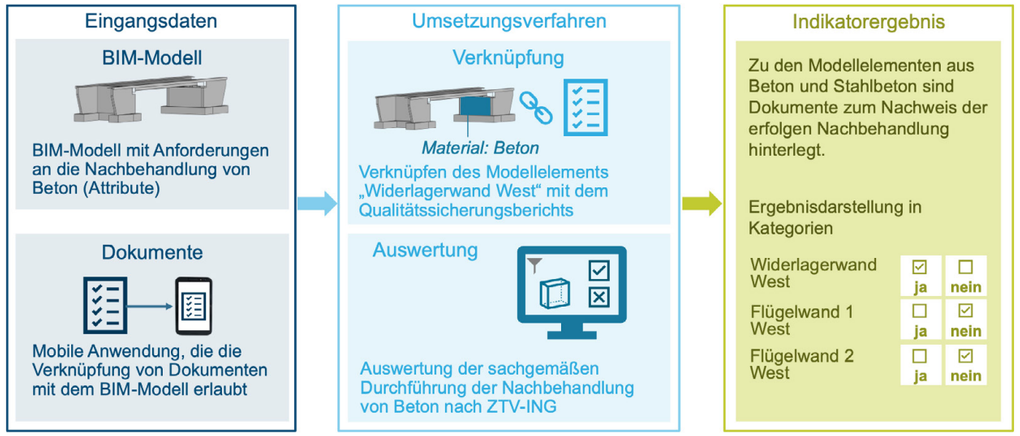


Abbildung 10: Beispielumsetzung für den Indikator „Qualitätssicherung der Bauausführung hinsichtlich der Nachbehandlung von Beton“

4.2.5 Analyse Attribute BIM-Modell

Allgemeines Vorgehen

Einige Nachhaltigkeitsindikatoren lassen sich bewerten, indem überprüft wird, ob bestimmte Objekte im BIM-Modell vorhanden sind (z. B. dokumentierte Pressansatzpunkte für den Lagerwechsel) oder ob Attributwerte bestimmte Grenzwerte einhalten (z. B. Transparenz von Lärmschutzwänden zur Bewertung der Anprallgefahr für Vögel). Voraussetzung für die Durchführbarkeit dieses Umsetzungsverfahrens ist lediglich, dass die Objekte entsprechend klassifiziert sind, um eine automatisierte Erkennung zu ermöglichen, und dass entsprechende Namenskonventionen für Attribute und Attributwerte eingehalten werden (siehe Abbildung 11).

Abbildung 11: Umsetzungsverfahren „Analyse der Attribute des BIM-Modells“

Beispielumsetzung für den Indikator Anprallgefahr für Vögel

Die Anprallgefahr für Vögel kann über die Transparenz der Lärmschutzwände beurteilt werden. Dazu muss das entsprechende Objekt im BIM-Modell so klassifiziert und attribuiert sein, dass ein Berechnungsalgorithmus erkennt, welches Objekt die Lärmschutzwand darstellt und wie hoch die Transparenz ist. Dieser Transparenzwert muss dann mit einem Grenzwert zur Bewertung der Anprallgefahr verglichen werden (siehe Abbildung 12).

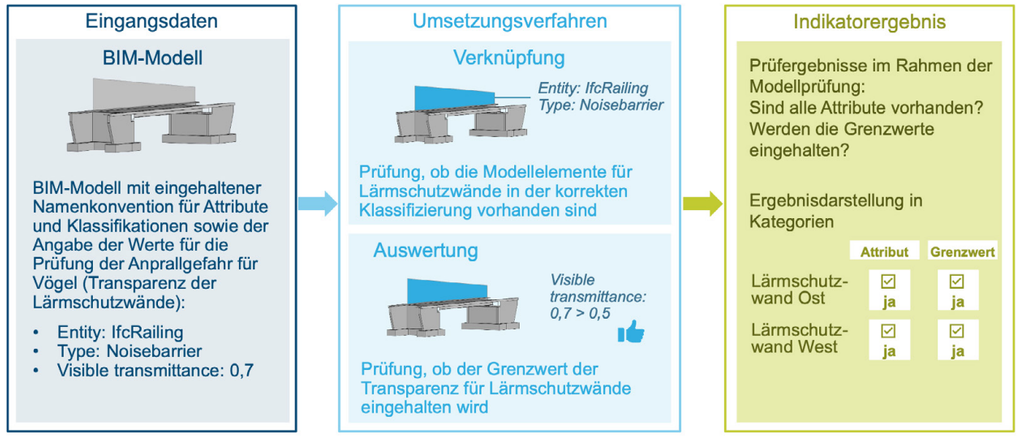


Abbildung 12: Beispielumsetzung für den Indikator „Anprallgefahr für Vögel“

5 Indikatorauswahl und -beurteilung

5.1 Zielsetzung

Eine vollautomatisierte Berechnung aller Nachhaltigkeitsindikatoren für Infrastrukturelemente ist in näherer Zukunft nicht realistisch durchführbar. Dies liegt u. a. daran, dass einige Indikatoren einer subjektiven Bewertung unterliegen, wie z. B. die ästhetische Qualität einer Brücke (FOGIB 1997), oder dass prozessuale Aspekte eine Rolle spielen, wie z. B. die aktive Beteiligung der Bevölkerung (CEEQUAL 2020), die nicht automatisiert bewertet werden können.

Andere Indikatoren können zwar automatisiert berechnet werden, aber der zusätzliche Aufwand für die projektspezifische Aufbereitung der Datenbasis, die Einhaltung von Namenskonventionen, die Modellprüfung und die Verifikation der Ergebnisse kann den Mehrwert der Automatisierung übersteigen, wenn das Indikatorergebnis auch manuell vergleichsweise einfach ermittelt werden kann, wie z. B. die Transparenz von Lärmschutzwänden. Ziel ist es, in einem ersten Schritt die Indikatoren zu identifizieren, bei denen eine automatisierte Berechnung zu hohen Effizienzsteigerungen führt.

5.2 Vorgehen

Zur Identifizierung der Indikatoren, deren BIM und GIS-gestützte Berechnung den größten Nutzen erwarten lässt, wurden vorhandene Nachhaltigkeitsbewertungssysteme, Systementwürfe und Bewertungsansätze analysiert, die einen Infrastrukturbezug aufweisen (siehe Abbildung 13). Darüber hinaus wurden einige Indikatoren insbesondere aus dem Bereich der Kreislaufwirtschaft integriert, die bisher in infrastrukturbezogenen Nachhaltigkeitsanalysen nicht adressiert wurden.

Bei der Analyse wurde der Fokus auf die Nachhaltigkeitsbewertungssysteme im deutschsprachigen Raum gelegt, da diese zum einen die spezifischen deutschen Vorschriften und regulatorischen Rahmenbedingungen abbilden, zum anderen werden in internationalen Nachhaltigkeitsbewertungssystemen häufig Indikatoren verwendet, die Ergebnisse auf einer Nominal- oder Ordinalskala darstellen (umgangssprachlich auch als „qualitative Indikatoren“ bezeichnet). Dies geschieht i.d.R. durch Einordnung der Projektergebnisse in vordefinierte Klassen und dient in der Regel Vermarktungszwecken. Diese Art von Indikatoren eignet sich nur sehr bedingt bis gar nicht, um im Rahmen der Kombination mit BIM- und GIS-Informationen automatisiert berechnet zu werden.

Abbildung 13: Auswahlprozess geeigneter Indikatoren für eine automatisierte Nachhaltigkeitsbewertung

Neben den Indikatoren der Nachhaltigkeitsbewertungssysteme, die derzeit im Infrastrukturbau noch keine Anwendung finden, gibt es bereits heute etablierte Planungsabläufe und gesetzliche Vorgaben, die Überschneidungen zur Nachhaltigkeitsbewertung aufweisen (Strategische Umweltprüfung, Umweltverträglichkeitsprüfung nach UVPG etc.). Die darin enthaltenen Kriterien wurden ebenfalls auf den Mehrwert durch eine Automatisierung durch BIM und GIS untersucht.

Da viele Indikatoren in mehreren etablierten Systemen/Verfahren Anwendung finden (z. B. Treibhauspotenzial), wurden diese Indikatoren zusammengefasst. Die insgesamt über 400 Indikatoren wurden in Bezug auf folgende Aspekte bewertet:

Automatisierbarkeit

Nicht alle Indikatoren können vollautomatisiert berechnet werden. Es kann jedoch auch ein Mehrwert generiert werden, wenn die Bewertung teilautomatisiert (ergänzt durch manuelle Eingaben) erfolgt oder durch den Einsatz von BIM und GIS die Datenbasis so aufbereitet wird, dass eine manuelle Bewertung unterstützt wird.

Datenbasis

Für die Bewertungen werden verschiedene Eingangsdaten benötigt. Dabei wird zwischen projektspezifischen und externen Daten unterschieden. Projektspezifische Daten müssen für die Bewertung eines Indikators in jedem Projekt erhoben und entsprechend den Anforderungen der Indikatoren aufbereitet werden (z. B. BIM-Modell mit entsprechenden Attributen). Externe Daten sind übergeordnete Daten, die für die Bewertung benötigt werden und deren Erhebung in einem konkreten Projekt in der Regel nicht möglich ist (z. B. Umweltwirkungen der Baustoffe Beton, Stahl, Asphalt etc.). Für alle Eingangsdaten wird eine Bewertung der Datenverfügbarkeit und Datenqualität auf einer vordefinierten Skala empfohlen.

Nutzen-Aufwand-Verhältnis

Die Indikatoren, für deren Bewertung eine der vorgestellten Umsetzungsmethoden zur Arbeitserleichterung möglich ist, wurden in einem Workshop mit dem Projektteam und der DEGES hinsichtlich des Nutzen-Aufwand-Verhältnisses bewertet. Entscheidend ist hier, ob der Mehraufwand durch die Aufbereitung der Modelle und Prüfung der Ergebnisse, die Arbeitserleichterung rechtfertigt.

5.3 Bewertete Indikatoren

Auf Basis der Abwägung von Nutzen und Aufwand kann das Ergebnis der Expertenbefragung als Gesamtergebnis aufbereitet werden. Dabei wird die in Abbildung 14 gezeigte Darstellung gewählt, auf deren Grundlage sich die Indikatoren in verschiedene Gruppen einteilen lassen. Auf der X-Achse ist der Aufwand dargestellt, der anfällt, um die (teil-)automatisierte Indikatorberechnung durchzuführen. Dieser umfasst die Implementierung des Prozesses sowie den Aufwand, der in jedem Projekt zusätzlich anfällt, um die Eingangsdaten für die BIM-gestützte Bewertung aufzubereiten. Auf der Y-Achse wird der Nutzen der BIM-gestützten Bewertung dargestellt. Dieser umfasst den Effizienzgewinn gegenüber der alternativ durchführbaren händischen Bewertung.

Bei Indikatoren mit einem hohen Nutzen-Aufwand-Verhältnis ist eine Integration der BIM-gestützten Bewertung in Projekte sehr zielführend, da eine deutliche Effizienzsteigerung erwartet wird. Daher werden diese Indikatoren als Vorzugsindikatoren charakterisiert, siehe Abbildung 14 rechts. Bei Indikatoren mit einem geringen Nutzen-Aufwand-Verhältnis wird eine direkte Integration in BIM-Projekte als derzeit nicht vorteilhaft eingestuft, da die Aufwände durch den Einsatz der BIM-Methode sehr hoch sind. Diese Einschätzung kann sich ändern, wenn zukünftig bessere Datengrundlagen und ein tieferes Prozessverständnis vorliegen. Indikatoren mit einem niedrigen Nutzen-Aufwand-Verhältnis werden daher als Zukunftsindikatoren charakterisiert. Die Indikatoren, bei denen der Nutzen und Aufwand ausgeglichen ist, sollten einzelfallbezogen in Abhängigkeit der existierenden Datenbasis ausgewählt werden.

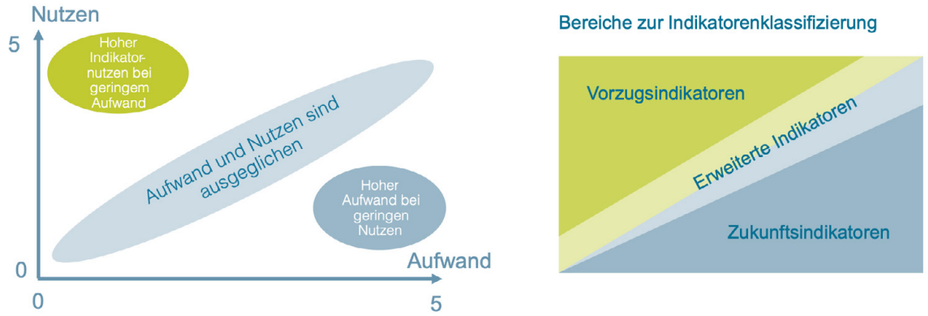


Abbildung 14: Form der Ergebnisdarstellung für das Nutzen-Aufwand-Verhältnis

Bei der Auswertung ist zu beachten, dass sich die Nutzen-Aufwand-Bewertung nur auf die BIM-gestützte Bewertung bezieht. So sind beispielsweise Zeitverluste und verkehrsbedingte Umweltauswirkungen während der Bau- und Nutzungsphase sehr relevante Indikatoren für die Nachhaltigkeitsbewertung von Verkehrsinfrastrukturelementen. Allerdings bietet die BIM-basierte Bewertung in diesem Fall nur einen begrenzten Mehrwert, da die BIM-Modelle sehr aufwendig aufbereitet werden müssen, um Bauzeitenpläne und Bauzustände mit Verkehrsführungen sinnvoll abzubilden. Alternativ könnten diese Analysen auch durch manuelle Eingabe von Verkehrsführungen und vorläufigen Bauzeiten in Berechnungsprogrammen erfolgen.

Das Ergebnis der Nutzen-Aufwand-Bewertung aller Indikatoren ist in Abbildung 15 visualisiert. Eine Liste mit Kurzbeschreibungen der Indikatoren findet sich in Anhang A.

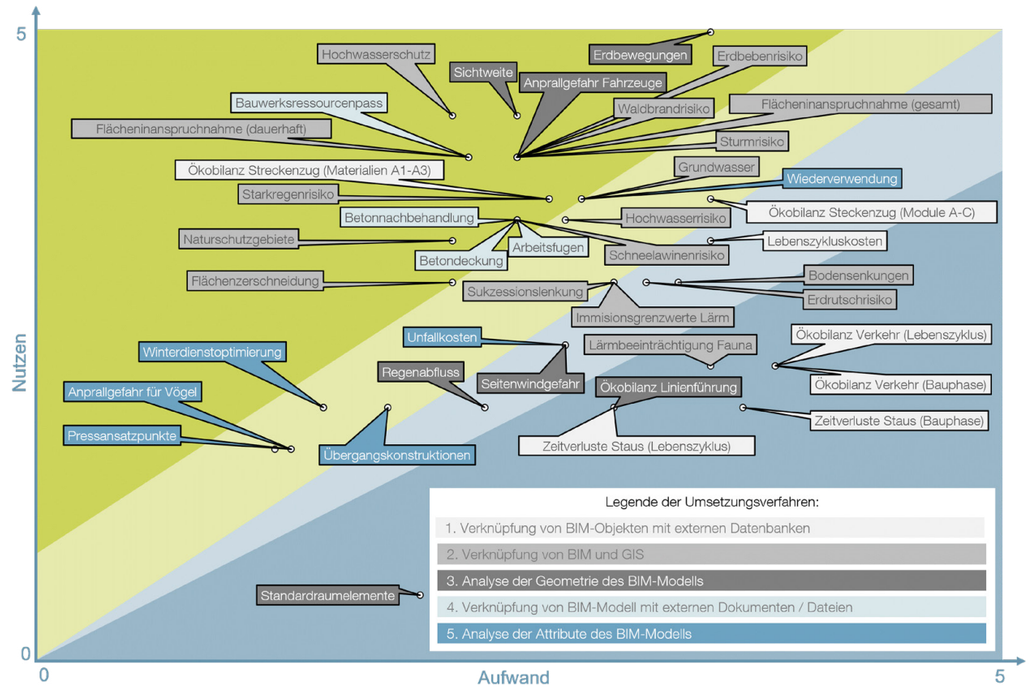


Abbildung 15: Bewertung des Nutzen-Aufwand-Verhältnis für die BIM und GIS-gestützten Nachhaltigkeitsindikatoren

6 Handlungsempfehlungen

6.1 Weiterentwicklung der Indikatoren

6.1.1 Nutzen

Grundsätzlich lassen sich die Berechnungsergebnisse von Nachhaltigkeitsanalysen auf unterschiedliche Weise im Sinne der Nachhaltigkeit nutzen:

- Unterstützung bei der Entscheidungsfindung anhand einzelner Indikatoren, z. B. im direkten Variantenvergleich (Streckenverlauf, Baustoffe etc.)
- Bilanzierung des Gesamtprojektes (Streckenzug) im Kontext eines (Nachhaltigkeits-)Bewertungssystems, z. B. im Vergleich mit einem Referenzobjekt/Zielwert

Darüber hinaus können bestimmte Nachhaltigkeitsindikatoren, die sich z. B. auf die Einhaltung bestimmter Grenzwerte/Vorgaben/Empfehlungen beziehen, beteiligte Personen auch ohne umfassende Fachkenntnisse im Bereich der Nachhaltigkeit bei der Planung, Koordination und Kontrolle unterstützen (z. B. Kollisionsprüfung im BIM-Modell, Behinderung HW-Abfluss).

6.1.2 Bewertungszeitpunkt

Nachhaltigkeitsanalysen sind während des gesamten Projektverlaufs möglich, von ersten Variantenvergleichen in der Vorplanung bis hin zur Gesamtbewertung am As-built-Modell. In frühen Planungsphasen ist der Hebel solcher Analysen auf die Gesamtwirkungen durch den Einfluss auf wichtige, die Nachhaltigkeit entscheidend beeinflussende Grundsatzentscheidungen am größten (siehe Abbildung 16), z. B. im Variantenvergleich zur Festlegung des Streckenverlaufs in der Vorplanung (Verkehrsanlage LPH 2) oder bei der Auswahl der Brückenbauweise (Ingenieurbauwerke LPH 2). Insbesondere für die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten in sehr frühen Grundsatzentscheidungen kommen vergleichende Bewertungen und qualitative Bewertungsmaßstäbe (z. B. niedrige, mittlere und hohe Wirkungen) infrage, während mit steigender Informationsverfügbarkeit zunehmend quantitative Bewertungsmaßstäbe zur Bilanzierung des Projektes möglich sind.

Das BIM-Modell wird während des Planungsprozesses (und zukünftig auch darüber hinaus) sukzessive mit Informationen erweitert. Um zu unterschiedlichen Bewertungszeitpunkten möglichst aktuelle Aussagen zur Nachhaltigkeit treffen zu können, ist es notwendig, dass auch die spezifischen Eingangsdaten zur Berechnung und Bewertung der Indikatoren dynamisch, d. h. über die Planungsphasen veränderlich, sein müssen. Mit steigender Datenverfügbarkeit aus dem BIM-Modell entstehen so neue Analysemöglichkeiten für aussagekräftige Schlussfolgerungen.

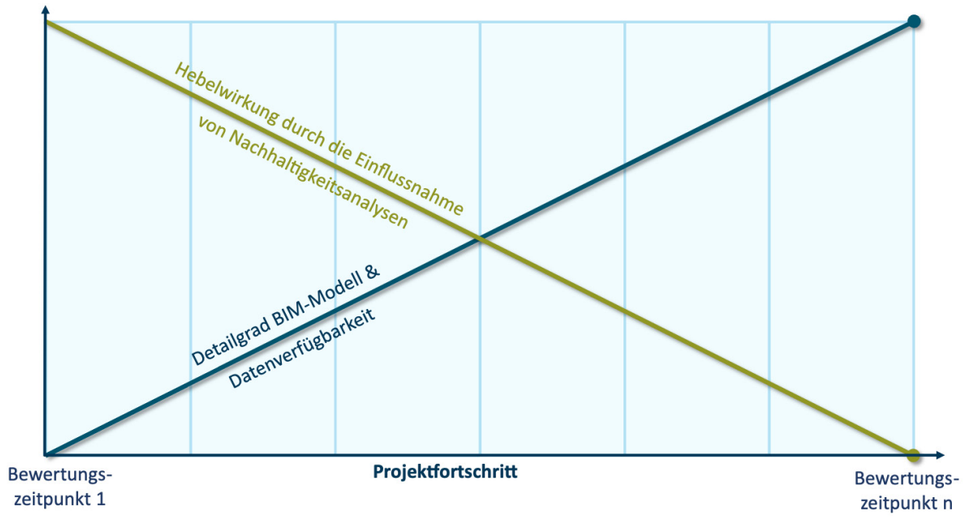


Abbildung 16: Einfluss von Nachhaltigkeitsanalysen und Datenverfügbarkeit über den Projektfortschritt (qualitativ, nicht maßstäblich)

6.1.3 Automatisierung

Damit die Berechnung und Bewertung von Nachhaltigkeitsindikatoren automatisiert ablaufen kann, müssen die benötigten Eingangsdaten und die verfügbaren Informationen aufeinander abgestimmt sein. Eine Automatisierung kann grundsätzlich in unterschiedlichen Stufen erfolgen:

Um einen Indikator vollautomatisch durch einen Algorithmus darstellen zu können, darf dieser ausschließlich maschinenlesbare Eingangsdaten erfordern, d. h. alle Informationen liegen in digitaler Form vor bzw. lassen sich daraus ableiten. Teilautomatisierte Berechnungen erfordern ggf. Zusatzeingaben und die Bewertung von Teilergebnissen durch eine Fachperson (z. B. neues Attribut im BIM-Modell nachpflegen, Checkliste ausfüllen). Darüber hinaus lassen sich durch die Verknüpfung von Zusatzinformationen an das BIM-Modell (z. B. Fachbeiträge, Erläuterungsberichte) nicht automatisierbare Vorgänge unterstützen und die Entscheidungsfindung dokumentieren. In jedem Fall ist es sinnvoll, das BIM-Modell mit sämtlichen Ergebnissen der Nachhaltigkeitsanalysen anzureichern, unabhängig vom jeweiligen Automatisierungsgrad bei der Berechnung und Bewertung.

6.1.4 Anpassung und Weiterentwicklung

Aufwand und Umfang der Nachhaltigkeitsanalysen hängen wesentlich davon ab, welche Informationen zur Indikatorberechnung herangezogen werden und in welcher Form diese Informationen vorliegen. Da die Indikatoren in ihrer ursprünglichen Form häufig im Kontext einer bestimmten Planungs- bzw. Leistungsphase geschaffen wurden, berücksichtigen diese i.d.R. auch die spezifische Datenverfügbarkeit zum Zeitpunkt der Bewertung oder unterstützen wichtige Entscheidungen im Planungsprozess. Es liegt somit nahe, dass diese Indikatoren ihr volles Potenzial nur unter bestimmten Rahmenbedingungen ausschöpfen, da eine Anwendung abseits des angedachten Bewertungszeitpunktes entweder dazu führt, dass die relevanten Informationen (noch) nicht vorliegen oder das Abstraktionsniveau des Indikators nicht alle (mittlerweile) verfügbaren Informationen einbezieht.

Für eine integrierte Nachhaltigkeitsbewertung ist es deshalb erforderlich, die (automatischen) Prozesse an die, je nach Leistungs- bzw. Planungsphase verfügbaren (maschinenlesbaren), Eingangsdaten anzupassen und die Indikatoren dahingehend weiterzuentwickeln. Dafür bedarf es einer nachvollziehbaren Systematik, wie der Gruppierung unterschiedlicher Berechnungsvorschriften und Algorithmen je Bewertungszeitpunkt unter einem Indikator (siehe Abbildung 17). Gleichzeitig muss diskutiert werden, wie bislang nicht digitalisierte oder maschinenlesbare Informationen so bereitgestellt werden können, dass sie in einen (teil-)automatisierten Prozess einbezogen werden können. Die Anforderungen an die Eingangsdaten müssen in den AIA (Auftraggeber.-Informationsanforderungen) formuliert werden.

Um den vollen Nutzen solcher Indikatoren planungs-/leistungsphasenübergreifend ausschöpfen zu können, müssen die Indikatoren auf die jeweiligen Planungsphasen angepasst bzw. in ihrer ursprünglichen Form einer Planungsphase zugeordnet werden. Bestimmte Indikatoren und insbesondere solche, die den Streckenverlauf betreffen, sind nur in bestimmten Planungsphasen entscheidungsrelevant (z. B. Vorplanung). Es müssen somit nicht alle Indikatoren zu allen Zeitpunkten bewertet werden. Indikatorergebnisse, die lediglich in einer früheren Planungsphase erzeugt und danach nicht weiter detailliert wurden, sollten nichtsdestotrotz in eine mögliche Gesamtbewertung einbezogen werden.

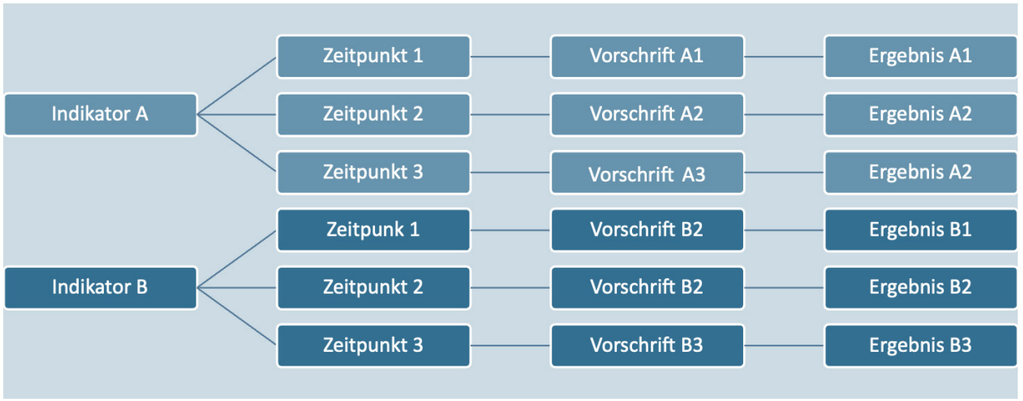


Abbildung 17: Mögliche Systematik zur Berücksichtigung unterschiedlicher Bewertungszeitpunkte

6.2 Methoden

Zukünftig werden die Bedeutung der Durchführung von Nachhaltigkeitsanalysen im Infrastruktursektor zunehmen sowie der Einsatz von infrastrukturspezifischen Nachhaltigkeitsanalysen erfolgen. Mit Blick auf die Vielzahl an Fachbeiträgen und Planungsbestandteilen werden zumindest mittelfristig nicht alle Bewertungsschritte in so einem System automatisiert ablaufen können.

Auch wenn bereits eine vergleichende Betrachtung einzelner Indikatoren nützlich sein kann, ist es sinnvoll, mit der BIM-gestützten Berechnungs- und Bewertungsmethode einen Prozess zu schaffen, der sich in bestehende und zukünftige Systeme eingliedern lässt. Ein Vorschlag für die Integration einer neuen Methode in bestehende Nachhaltigkeitsbewertungssysteme ist der Abbildung 18 zu entnehmen.

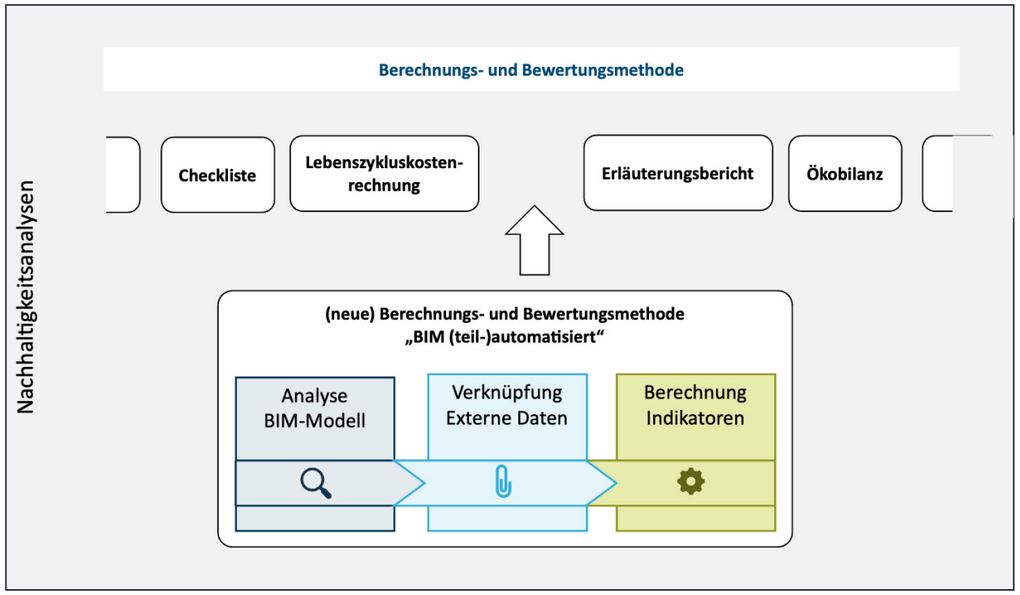


Abbildung 18: Vorschlag für die Integration einer neuen Methode in bestehende Nachhaltigkeitsbewertungssysteme

6.3 Anforderungsdefinition

Zur Verwendung von Daten aus BIM-Modellen und Geoinformationssystemen für die Berechnung von Nachhaltigkeitsindikatoren müssen die Eingangsdaten auf die Berechnungsmethoden der Indikatoren abgestimmt sein. Die erforderlichen Eingangsdaten werden im Rahmen der Anwendung der BIM-Methode in Form von Informationsanforderungen vor dem Beginn der inhaltlichen Bearbeitung der Leistungsphasen ausformuliert. Wenn Nachhaltigkeitsanalysen auf Grundlage von BIM-Modellen und Geoinformationssystemen durchgeführt werden sollen, gibt es zwei Möglichkeiten der Datenerzeugung:

- Es können Daten, die bereits im Rahmen der Bearbeitung von weiteren BIM-Anwendungsfällen erzeugt wurden, für die Berechnung der Nachhaltigkeitsindikatoren verwendet werden.
- Es müssen zusätzliche Daten erzeugt werden, die für die Indikatorenberechnung erforderlich sind.

In beiden Fällen sollten die erforderlichen Daten inklusive ihrer Formate und Speicherorte in Form von Informationsanforderungen strukturiert ausformuliert werden. In BIM-Projekten geschieht dies durch die Erzeugung von Modellierungsrichtlinien und die Beschreibung der Informationsbedarfstiefe (Level of Information Need – LOIN). Unabhängig davon, ob Nachhaltigkeitsanalysen als ein separater Anwendungsfall im Projekt definiert oder Nachhaltigkeitsindikatoren als Bestandteil der bereits ausformulierten BIM-Anwendungsfälle verwendet werden, sind diese Inhalte für die Sicherstellung einer effizienten Anwendung essenziell.

Um den Aufwand zur Erstellung der Informationsanforderungen zu reduzieren, werden diese i. d. R. im Rahmen von Pilotprojekten beispielhaft erarbeitet und dann verallgemeinert. Eine Möglichkeit der Bereitstellung zur standardisierten Verwendung ist die Integration in das BIM-Portal. Um diesen Weg zu unterstützen, ist geplant, die in diesem Praxisdokument mit einem hohen Nutzen-Aufwand-Verhältnis identifizierten Indikatoren in Pilotprojekten zu erproben und darauf aufbauend sowohl spezifische Anwendungsempfehlungen als auch indikatorbezogene Informationsanforderungen zu erzeugen.

7 Anhang A: Indikatorübersicht

Tabelle 2: Indikatoren, die mit dem Umsetzungsverfahren „Verknüpfung von BIM-Objekten mit externen Datenbanken“ bewertet werden können

Indikator/Indikatorengruppe	Beschreibung	Für die Umsetzung benötigte Eingangsdaten	BIM-gestützte Umsetzung
Ökobilanz Streckenzug (Materialien A1–A3, C3, C4)	Unter „Ökobilanz Streckenzug (Materialien A1–A3, C3, C4)“ werden alle Indikatoren zusammengefasst, die mit der Methode der Ökobilanzierung berechnet werden können und als Ergebnis die globalen Umweltwirkungen (Treibhauspotenzial, Eutrophierungspotenzial, Ozonabbau etc.) der verwendeten Bauprodukte und Baustoffe ausgeben Ökobilanzindikatoren, kommen in unterschiedlicher Ausprägung in allen Bewertungssystemen vor und werden so angepasst, dass eine BIM-gestützte Berechnung erfolgen kann.	▪ BIM-Modell ▪ Datenbank mit Ökobilanz-Datensätzen (z. B. Ökobau.dat)	Verknüpfung der BIM-Objekte mit den Ökobilanzdatensätzen der Bauprodukte aus den Ökobilanz-Datenbanken und Berechnung der Umweltwirkungen über die Mengen aus dem BIM-Modell und die Umweltwirkungen pro Mengeneinheit aus den Datenbanken.
Ökobilanz Streckenzug (Lebenszyklus A–C)	Umfasst zusätzlich zu den Umweltwirkungen der Bauprodukte (siehe Zeile 1) die Emissionen während der Bauphase und über den gesamten Lebenszyklus des Streckenzugs. Ökobilanzindikatoren, kommen in unterschiedlicher Ausprägung in allen Bewertungssystemen vor und werden so angepasst, dass eine BIM-gestützte Berechnung erfolgen kann.	Zusätzlich zu Zeile 1 werden folgende Daten benötigt: ▪ Transportdistanzen ▪ Baustellenprozesse ▪ Erdbewegungen ▪ Austauschzyklen ▪ Rückbauprozesse	Zusätzlich zu Zeile 1 werden die BIM-Objekte mit Daten zu Herstellwerken für Transportemissionen, benötigten Baumaschinen für Baustellenprozesse, Austauschzyklen und Rückbauprozessen verknüpft. Die Berechnung erfolgt mit den Mengen aus dem BIM-Modell. Die Emissionen aus der Herstellung des Geländeniveaus werden über Gelände-modelle (siehe Indikator Erdbewegungen) berechnet.
Ökobilanz Verkehr (Bauphase)	Fahrzeuge emittieren bei unterschiedlichen Fahrweisen (z. B. Stop-and-Go- Fahrweise im Stau) unterschiedlich hohe Emissionen. Über die „Ökobilanz Verkehr (Bauphase)“ werden diese baustellen-bedingten Emissionen aufgrund der baustellenbedingten Verkehrsbehinderungen zusammengefasst. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	▪ BIM-Modell mit Bauzeitenplänen, Anzahl der Fahrstreifen und Baustellenverkehrsführung ▪ Verkehrsdaten (täglicher Verkehr, Schwerlastanteil, Verkehrsverteilung) ▪ Potenzielle Umleitungsstrecken bei Vollsperrungen ▪ Datenbank zu Verkehrsemissionen (z. B. HBEFA)	Aus der Kapazität der Baustellenverkehrsführung und der Verkehrsbelastung werden die Geschwindigkeitsprofile der Fahrzeuge ermittelt. Über die entstehenden Staus werden die Verkehrsverlagerungen und die daraus resultierenden zusätzlichen Mehrkilometer berechnet. Aus den Verkehrsemissionsdaten der Fahrzeuge bei unter-schiedlichen Geschwindigkeiten werden die Mehremissionen gegenüber dem Fall ohne Baustelle berechnet.
Ökobilanz Verkehr (Lebenszyklus)	Umfasst neben den Umweltwirkungen während der Bauphase auch die baustellenbedingten Emissionen während aller Bau- und Instand-haltungsmaßnahmen im Lebenszyklus. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Zusätzlich zu Zeile 3 werden Bauzeitenpläne für alle Maßnahmen im Lebenszyklus benötigt	Analog zu Zeile 3.
Zeitverluste Staus (Bauphase)	Im Baustellen- und Staubereich fahren die Fahrzeuge langsamer. Dadurch entstehen für die Bevölkerung Zeitverluste im Vergleich zur Normal-situation ohne Baustelle. Diese baustellenbedingten Zeitverluste können z. B. monetarisiert und damit in volkswirtschaftliche Kosten umgerechnet werden. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Analog zu Zeile 3.	Analog zu Zeile 3. Die Geschwindigkeitsprofile werden jedoch zur Berechnung der Durchfahrtszeiten und nicht der Emissio-nen verwendet.

Zeitverluste Staus (Lebenszyklus)	Umfasst zusätzlich zu Zeile 6 Zeitverluste bei allen Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen im Lebenszyklus. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Zusätzlich zu Zeile 5 werden Bauzeitenpläne für alle Maßnahmen im Lebenszyklus benötigt	Analog zu Zeile 5.
Lebenszykluskosten	Alle Kosten, die über den gesamten Lebenszyklus des Streckenzugs anfallen. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	▪ BIM-Modell ▪ Kostendatenbanken mit Kostenansätzen für die Bauphase und alle Maßnahmen im Lebenszyklus	Verknüpfung der Kostenansätze mit den BIM-Objekten und Berechnung der Lebenszykluskosten über die Mengen aus dem BIM-Modell und die Kostenansätze pro Mengeneinheit aus den Datenbanken.

Tabelle 3: Indikatoren, die mit dem Umsetzungsverfahren „Verknüpfung von BIM und GIS“ bewertet werden können

Indikator/ Indikatorengruppe	Beschreibung	Für die Umsetzung benötigte Eingangsdaten	BIM-gestützte Umsetzung
Flächenzerschneidung	Ermittlung der (Umwelt-)Betroffenheit infolge der Flächenzerschneidungen von Feucht-, Trocken- und Waldlebensräume (UFR 1.000/1.500). Ergebnis der Berechnung ist die Zerschneidungslänge in km. In Anlehnung an: Methodenbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030 (BVWP 2030)	Die Projektachse mit Georeferenzierung aus dem BIM-Modell und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (UFR-Großräume der BfN-Lebensraumnetzwerke)	Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulissen mit der Trassierungsachse. Berechnung Zerschneidungslänge in [km] (Trassierungsachse).
Sukzessionslenkung	Sukzessionslenkung: Feststellung, inwiefern Wildwechsel während Herstellung und Nutzung behindert wird. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Checkliste und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Die Projektachse mit Georeferenzierung sowie Attribute für wildwechselfördernde Maßnahmen aus dem BIM-Modell und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (Wildwechsel-Karten) sowie UVP-Fachbeitrag Sukzessionslenkung	Definition von Beeinträchtigungs-Grenzwerten bzw. Anpassung der Messvorschriften, Einführung von Attributen für wildwechselfördernde Maßnahmen. Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulissen mit der Trassierungsachse. Automatischer Abgleich mit den Attributen für wildwechselfördernde Maßnahmen entsprechend der Checkliste/ Berechnung der CP Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge)

Lärmbeeinträchtigung Fauna	Feststellung, inwiefern die Fauna durch Lärm während der Nutzung betroffen ist. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Checkliste und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Die Projektachse mit Georeferenzierung sowie Attribute für Lärmschutz aus dem BIM-Modell, Ergebnisse der Lärmberechnung (Lärmkarten) und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (Karte mit Gebieten von zu schützender Fauna) sowie UVP-Fachbeitrag Lärmschutz	Definition von Beeinträchtigungs-Grenzwerten bzw. Anpassung der Messvorschriften, Einführung von Attributen für Lärmschutz. Export der Projektdaten aus BIM-Modell (Achse, Lärmschutz) und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulissen mit den Lärmkarten Automatischer Abgleich mit den Attributen für Lärmschutz entsprechend der Checkliste/Berechnung der CP Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge)
Grundwasservermischung	Feststellung, inwiefern eine Vermischung von Grundwasserschichten oder eine Veränderung des Grundwasserstroms verursacht wird. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Checkliste und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Geometrien v. A. der Gründung (z. B. Tiefe der Pfähle) mit Georeferenzierung sowie Attribute für Einbauten aus dem BIM-Modell und Geodaten im GIS (Grundwasserkarten) sowie UVP-Fachbeitrag Boden- und Wasserschutz	Definition von Beeinträchtigungs-Grenzwerten bzw. Anpassung der Messvorschriften, Einführung von Attributen für Einbauten. Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der Geometrien mit der Grundwasserkarte. Automatischer Abgleich der Verschneidungsergebnisse entsprechend der Checkliste/Berechnung der CP. Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge)
Naturschutzgebiete	Feststellung, inwiefern Naturschutz-/Wasserschutzgebiete beeinträchtigt werden. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Checkliste und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Die Projektachse mit Georeferenzierung aus dem BIM-Modell, Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (Natura-2000, FFH, Natur- und Wasserschutzgebiete) sowie UVP-Fachbeitrag Boden- und Wasserschutz	Definition von Beeinträchtigungs-Grenzwerten bzw. Anpassung der Messvorschriften. Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulissen mit der Trassierungsachse. Automatischer Abgleich der Verschneidungsergebnisse entsprechend der Checkliste/Berechnung der CP. Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge)

Hochwasserschutz	Feststellung, inwiefern der Hochwasserabfluss durch Einbauten behindert wird. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Checkliste und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Geometrien der Einbauten/Brückenpfeiler mit Georeferenzierung sowie Attribute für Einbauten aus dem BIM-Modell und Hochwassergefahrenkarten (z. B. HQ_{10}, HQ_{100}, HQ_{extrem}) im GIS sowie UVP-Fachbeitrag Boden- und Wasserschutz	Definition von Beeinträchtigungs-Grenzwerten (Restrisiko) bzw. Anpassung der Messvorschriften, Einführung von Attributen für Einbauten. Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Kollisionsprüfung der spezifischen Flächenkulissen mit den Einbauten. Automatischer Abgleich der Verschneidungsergebnisse entsprechend der Checkliste/Berechnung der CP. Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge)
Flächeninanspruchnahme (gesamt)	Ermittlung der vorübergehenden und dauerhaften Flächen-inanspruchnahme (gewichtete Flächenbilanz: Einteilung der gesamten Teilflächen nach Vornutzung, Nutzungsdauer und Versiegelungsgrad nach Fertigstellung, Multiplikation mit den einzelnen Faktoren und Aufsummierung mit ihrer Gewichtung. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Die Projektachse mit Georeferenzierung sowie Attribute für Beanspruchungsdauer und Versiegelungsart aus dem BIM-Modell und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (Grunderwerbsplan, Flächennutzungsplan inkl. Nutzungsarten), Vornutzungsfaktoren in Abhängigkeit der Vornutzungsart, Versiegelungsfaktoren in Abhängigkeit der Versiegelungsart, UVP-Fachbeitrag Boden- und Wasserschutz	Definition von (bislang projektabhängigen) Qualitätsklassen, Einführung von Attributen für Beanspruchungsdauer und Versiegelungsart. Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulissen mit den Projektflächen. Berechnung der gewichteten Flächenbilanz Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge).
Flächeninanspruchnahme (dauerhaft)	Ermittlung der dauerhaften Flächeninanspruchnahme/-Beeinträchtigung von Naturschutzvorrangflächen: ▪ Unmittelbare Inanspruchnahme (Straßenbreite) ▪ Indirekte Beeinträchtigungen (Wirkzone) Ergebnis der Berechnung sind die beanspruchten Flächen in ha. In Anlehnung an: Methodenbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030 (BVWP 2030)	Die Projektachse mit Georeferenzierung sowie die Straßen-breite/Geometrie (unmittelbare Inanspruchnahme) aus dem BIM-Modell und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (Natura-2000-Gebietskulisse, Naturschutzgroßprojekten – nur Kernzone, UNESCO-Weltnaturerbestätten – ohne offizielle Pufferflächen) sowie die Ergebnisse der Verkehrs-prognose (> 20.000 Fz/d?) und Wirkzonenbreiten und Beeinträchtigungsfaktoren in Abhängigkeit vom Projekttyp entsprechend Tab. 126 Methodenhandbuch zum BVWP 2030	Export Projektdaten aus BIM-Modell, Import Projektdaten in GIS. Berechnung Wirkzone (Wirkzonenbreite und Beein-trächtigungsfaktor in Abhängigkeit vom Projekttyp nach Tab. 126 Methodenhandbuch zum BVWP) GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulissen mit den Projekt-Wirkzonen Berechnung Fläche in [ha] (unmittelbare Inanspruchnahme und indirekte Beeinträchtigungen in Wirkzone)

Immissionsgrenzwerte Lärm	Feststellung, ob Immissionsgrenzwerte (Lärm) eingehalten sind bzw. ob Kompensationsmaßnahmen zusätzliche Verkehrsentwicklungen berücksichtigen. Außerdem wird geprüft, inwiefern Veränderungen der aktuellen Lärm-Situation auftreten. Die Beurteilung erfolgt anhand von Checklisten und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Die Projektachse und Objekte/Immissionsorte mit Attributen für Kompensationsmaßnahmen mit Georeferenzierung sowie aus dem BIM-Modell und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (Lärmkarte nach RLS-90 oder vergleichbar für angrenzende Straße (ohne Brücke), Karte Immissionsorte), UVP-Fachbeitrag Lärmschutz.	Definition von Beeinträchtigungs-Grenzwerten bzw. Anpassung der Messvorschriften, Einführung von Attributen für Kompensationsmaßnahmen. Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, Erzeugen von Wirkzonen und GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulissen mit den Wirkzonen. Automatischer Abgleich der Verschneidungsergebnisse entsprechend der Checkliste/Berechnung der CP. Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge).
Schneelawinenrisiko	Das Schneelawinenrisiko wird anhand der allgemeinen Lawinengefahr sowie ggf. vorgesehenen Kompensationsmaßnahmen beurteilt. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Checkliste und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Die Projektachse mit Georeferenzierung sowie Attribute zu Kompensationsmaßnahmen und deren Wirksamkeit aus dem BIM-Modell und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (Karte der Schneelastzonen in Deutschland (BBK Bund, 2018), GIS-fähig!)	Definition und Einführung von Attributen für Kompensationsmaßnahmen. Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulisse mit der Projektachse. Automatischer Abgleich der Verschneidungsergebnisse bzw. der Attribute entsprechend der Checkliste/Berechnung der Kompensationsmaßnahmen notwendig sind. Kompensationsmaßnahme selbst können nicht geprüft werden (unterstützend geprüft werden (unterstützend bzw. Gutachten über Kompensationsmaßnahmen nutzen, um „Vorher-Nachher“ Verschneidung mit Schneekarte durchzuführen und so die Kompensationsmaßnahme beurteilen). Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge)

Sturmrisiko	Das Sturmrisiko wird anhand der 100-jährigen Windgeschwindigkeiten sowie zusätzlichem Gefährdungspotenzial und ggf. vorgesehenen Kompensationsmaßnahmen beurteilt. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Checkliste und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Die Projektachse mit Georeferenzierung sowie Attribute zu Kompensationsmaßnahmen (längsgerichtete Schutzmaßnahmen) aus dem BIM-Modell und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (Sturmprognose Windgeschwindigkeiten 100a)	Definition von Beeinträchtigungs-Grenzwerten (zusätzliches Gefährdungspotenzial) bzw. Anpassung der Messvorschriften, Definition und Einführung von Attributen für Kompensationsmaßnahmen. Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulisse mit der Projektachse. Automatischer Abgleich der Verschneidungsergebnisse bzw. der Attribute entsprechend der Checkliste/Berechnung der CP: Es kann automatisiert geprüft werden, ob Kompensationsmaßnahmen notwendig sind. Kompensationsmaßnahme selbst können nicht geprüft werden (unterstützend). Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge)
Hochwasserrisiko	Das Hochwasser-/Sturmflutrisiko wird anhand detaillierter Prognosen und ggf. vorgesehenen Kompensationsmaßnahmen oder mithilfe öffentlich zugänglicher Daten beurteilt. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Checkliste und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Die Projektachse mit Georeferenzierung sowie Attribute zu Kompensationsmaßnahmen (Schutzmaßnahmen) aus dem BIM-Modell und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (Gefahrenkarte)	Definition und Einführung von Attributen für Kompensationsmaßnahmen. Ggf. Zuordnung von Gefährdungsstufen zu üblichen Hochwassergefahrenkarten (z. B. HQ_{extrem}) Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulisse mit der Projektachse. Automatischer Abgleich der Verschneidungsergebnisse bzw. der Attribute entsprechend der Checkliste/Berechnung der CP: Es kann automatisiert geprüft werden, ob Kompensationsmaßnahmen notwendig sind. Kompensationsmaßnahme selbst können nicht geprüft werden (unterstützend). Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge).

Starkregenrisiko	Das Starkregenrisiko wird anhand mittlerer Niederschlagshöhen und ggf. vorgesehenen Kompensationsmaßnahmen beurteilt. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Checkliste und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Die Projektachse mit Georeferenzierung sowie Attribute zu stark gefährdeten Abschnitten und Kompensationsmaßnahmen (Schutzmaßnahmen) aus dem BIM-Modell und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (Niederschlagshöhen)	Definition und Einführung von Attributen für stark gefährdete Abschnitte und Kompensationsmaßnahmen. Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulisse mit der Projektachse. Automatischer Abgleich der Verschneidungsergebnisse bzw. der Attribute entsprechend der Checkliste/Berechnung der CP: Es kann automatisiert geprüft werden, ob Kompensationsmaßnahmen notwendig sind. Kompensationsmaßnahme selbst können nicht geprüft werden (unterstützend). Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge).
Erdrutschrisiko	Das Erdrutschrisiko wird anhand der Gefahrenlage und ggf. vorgesehenen Kompensationsmaßnahmen beurteilt. Erkenntnisse zur Gefahrenlage hinsichtlich möglicher Erdrutsche und/oder Felsabgänge sind den geotechnischen Untersuchungen zu entnehmen. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Checkliste und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Die Projektachse mit Georeferenzierung sowie Attribute zu stark gefährdeten Abschnitten und Kompensationsmaßnahmen (Schutzmaßnahmen) aus dem BIM-Modell und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (DGM, Geländeneigung >20 Grad, Gefahrenbereiche) sowie geotechnische Gutachten	Definition von Gefährdungs-Grenzwerten bzw. Anpassung der Messvorschriften, Einführung von Attributen für Kompensationsmaßnahmen. Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulisse mit der Projektachse. Automatischer Abgleich der Verschneidungsergebnisse bzw. der Attribute entsprechend der Checkliste/Berechnung der CP: Es kann automatisiert geprüft werden, ob Kompensationsmaßnahmen notwendig sind. Kompensationsmaßnahme selbst können nicht geprüft werden (unterstützend). Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge).

Erdbebenrisiko	Das Erdbebenrisiko wird anhand detaillierter Prognosen und ggf. vorgesehenen Kompensationsmaßnahmen oder mithilfe öffentlich zugänglicher Daten beurteilt. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Checkliste und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Die Projektachse mit Georeferenzierung sowie Attribute zu Kompensationsmaßnahmen (Schutzmaßnahmen) aus dem BIM-Modell und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (Erdbebenkarte)	Definition von Gefährdungs-Grenzwerten bzw. Anpassung der Messvorschriften, Einführung von Attributen für Kompensationsmaßnahmen. Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulisse mit der Projektachse. Automatischer Abgleich der Verschneidungsergebnisse bzw. der Attribute entsprechend der Checkliste/Berechnung der CP: Es kann automatisiert geprüft werden, ob Kompensationsmaßnahmen notwendig sind. Kompensationsmaßnahme selbst können nicht geprüft werden (unterstützend). Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge).
Bodensenkungen	Das Risiko von Bodensenkungen wird anhand der Gefährdungsbereiche und ggf. vorgesehenen Kompensationsmaßnahmen beurteilt. Erkenntnisse zu Gefährdungsbereichen (Moorböden, Torf etc.) möglicher Bodensenkungen sind den geotechnischen Untersuchungen zu entnehmen. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Checkliste und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Die Projektachse und Ing.-Bauwerke mit Georeferenzierung sowie Attribute zu Kompensationsmaßnahmen (Schutzmaßnahmen) aus dem BIM-Modell und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (Gefährdungsbereiche Moorböden, Torfböden etc.) sowie geotechnische Gutachten	Definition von Gefährdungs-Grenzwerten bzw. Anpassung der Messvorschriften, Einführung von Attributen für Kompensationsmaßnahmen. Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulisse mit der Projektachse/den Bauwerksflächen. Automatischer Abgleich der Verschneidungsergebnisse bzw. der Attribute entsprechend der Checkliste/Berechnung der CP: Es kann automatisiert geprüft werden, ob Kompensationsmaßnahmen notwendig sind. Kompensationsmaßnahme selbst können nicht geprüft werden (unterstützend). Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge).

Waldbrandrisiko	Das Waldbrandrisiko wird anhand der mittleren Anzahl der Tage, an denen Waldbrandgefahr in einem Waldgebiet besteht, durch das der Streckenzug verläuft, beurteilt. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Checkliste und eines Erläuterungsberichtes. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	Die Projektachse mit Georeferenzierung aus dem BIM-Modell und Geodaten (Flächenkulissen) im GIS (Waldbrandindex DWD, GIS-fähig!)	Export der Projektdaten aus BIM-Modell und Import der Projektdaten in GIS, GIS-technische Verschneidung der spezifischen Flächenkulisse mit der Projektachse/den Bauwerksflächen. Automatischer Abgleich der Verschneidungsergebnisse bzw. der Attribute entsprechend der Checkliste/Berechnung der CP Nur unterstützend: Erstellung eines Erläuterungsberichtes und argumentative Projektbewertung mit Hilfe von an das BIM-Modell angehängten externen Dokumenten/Dateien (Fachbeiträge).

Tabelle 4: Indikatoren, die mit dem Umsetzungsverfahren „Analyse der Geometrie des BIM-Modells“ bewertet werden können

Indikator/Indikatorengruppe	Beschreibung	Für die Umsetzung benötigte Eingangsdaten	BIM-gestützte Umsetzung
Anprallgefahr Fahrzeuge	Zur Beurteilung der Sicherheit einer Brücke gegen den Anprall von Fahrzeugen, die die zulässigen Fahrzeugabmessungen überschreiten, kann ein erweitertes Lichtraumprofil angesetzt werden. Wenn keine tragenden Bauteile dieses erweiterte Lichtraumprofil schneiden, besteht eine geringere Anprallgefahr. In Anlehnung an: Ingenieurbauten – Wege zu einer ganzheitlichen Bewertung (FOGIB Band 1–3)	▪ BIM-Modell der Brücke ▪ Trasse und Querschnitt des unteren Sachverhalts	Es wird ein geometrischer Körper auf der Trasse des unteren Sachverhalts erstellt und eine Kollisionsprüfung mit dem BIM-Modell der Brücke durchgeführt.
Erdbewegungen	Minimierte Erdbewegungen zur Herstellung des Geländeniveaus sorgen für einen geringen Eingriff in die Natur und für weniger Emissionen durch Baustellenfahrzeuge. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	▪ Digitales Geländemodell 0-Zustand (vor Baumaßnahme) ▪ Digitales Geländemodell 1-Zustand (nach Fertigstellung)	Durch Verschneidung der Geländemodelle können die zu bewegenden Erdmassen quantifiziert werden.
Seitenwindgefahr	Insbesondere bei Brücken in exponierter Lage kann bei fehlendem oder unterbrochenem Seitenwindschutz die Verkehrssicherheit durch starken Seitenwind beeinträchtigt werden. In Anlehnung an: Ingenieurbauten – Wege zu einer ganzheitlichen Bewertung (FOGIB Band 1–3)	▪ BIM-Modell der Brücke	Erstellung eines geometrischen Körpers für den Fahrbereich der Fahrzeuge und Prüfung, ob horizontale „Windlinien“ diesen Körper schneiden oder durch Pfeiler, Seitenwände etc. blockiert werden.

Unfallkosten	Die Bestimmung der Unfallkostenrate erfolgt unter Berücksichtigung des Streckentyps, der räumlichen Lage der Strecke und dem Vorhandensein von Standstreifen sowie der Anzahl der Fahrspuren je Richtung. In Anlehnung an: Methodenbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030 (BVWP 2030)	BIM-Modell des Streckenzugs mit Seitenstreifen, klassifizierten Knotenpunkten, Ingenieurbauwerken, Infos zu Tunnelausgestaltung etc. Geodaten ▪ Karte mit bebauten Gebieten	Aus dem BIM-Modell werden die Anzahl der Fahrstreifen sowie die Anzahl und Art der Ingenieurbauwerke und Knotenpunkte ausgelesen. Durch Verschneidung mit einer Karte der bebauten Gebiete und Multiplikation mit den Unfallkostenraten können die Unfallkosten des Streckenzugs prognostiziert werden.
Ökobilanz Linienführung	Über die Steigung und Länge des Streckenzugs können die Emissionen des Verkehrs prognostiziert werden. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	▪ Trasse (z. B. als Polylinie) mit Steigung ▪ Datenbank zu Verkehrsemissionen (z. B. HBEFA) ▪ Verkehrsbelastung	Die Steigung und die Länge der Streckenabschnitte werden dem Modell entnommen. Aus den von der Steigung abhängigen Verkehrsemissionen der Fahrzeuge werden die streckenbezogenen Emissionen des Streckenabschnitts berechnet.
Regenabfluss	Über die Gradiente kann der Regenabfluss und die damit verbundene Abwassermenge prognostiziert werden.	▪ Trasse (z. B. als Polylinie) und Gradiente als Parameter oder Deckschicht als 3D-Körper	Die Gradiente der Abschnitte des Streckenzugs wird ausgelesen und mit Abwasserkennwerten zur Berechnung der Abwasserprognose multipliziert.
Sichtweite	Die Sichtweiten für Überholvorgänge auf der gesamten Strecke erhöhen die Verkehrssicherheit. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	BIM-Modell ▪ Trasse (z. B. als Polylinie) ▪ Geschlossene Volumenkörper für alle möglichen Sichtbehinderungen (Bäume etc.)	Entlang der Fahrspuren werden an definierten Punkten Sichtkegel als geometrische Objekte erzeugt. Es wird geprüft, ob diese Sichtkegel andere BIM-Objekte schneiden (Kollisionsprüfung), bevor sie wieder auf die Trasse treffen. Das Ergebnis ist eine Liste von Punkten, an denen die Sichtverhältnisse eingeschränkt sind.
Standardraumelemente	Standardraumelemente erhöhen die Verkehrssicherheit. Eine Trasse, die ausschließlich aus Standardraumelementen besteht, führt zu einer höheren Verkehrssicherheit. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	BIM-Modell ▪ Trasse (z. B. als Polylinie) ▪ Digitales Geländemodell	Die Anfangs- und Endpunkte der Kurven werden ausgelesen und es wird geprüft, ob diese Punkte innerhalb bestimmter Toleranzen mit den Anfangspunkten der Wannen im Höhenplan übereinstimmen, um zu überprüfen, ob die Standardraumelemente eingehalten werden.

Tabelle 5: Indikatoren, die mit dem Umsetzungsverfahren „Verknüpfung von BIM-Modell mit externen Dokumenten/Dateien“ bewertet werden können

Indikator/Indikatorengruppe	Beschreibung	Für die Umsetzung benötigte Eingangsdaten	BIM-gestützte Umsetzung
Betondeckung	Die Überprüfung der Betondeckung und des Korrosionsschutzes stellt die korrekte Ausführung und Dokumentation und damit Langlebigkeit der Betonbauteile sicher. In Anlehnung an: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit (BASt-Bericht B 125), Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus (Anlage zum BASt Bericht B 131)	BIM-Modell ■ Anforderungen an Betondeckung und Korrosionsschutz Externe Dateien (über ein mobiles Formular erzeugt) ■ Ausgefüllte Checklisten (nach entsprechender Richtlinie)	Die Informationen über die Nachbehandlung aus dem digitalen Formular werden über eine Datenbank mit den entsprechenden BIM-Objekten verknüpft. Auf dieser Basis wird ausgewertet, ob die Anforderungen an Betondeckung und Korrosionsschutz eingehalten wurden.
Betonnachbehandlung	Die Überprüfung der fachgerechten Nachbehandlung des Betons stellt die korrekte Ausführung und Dokumentation und damit Langlebigkeit der Betonbauteile sicher. In Anlehnung an: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit (BASt-Bericht B 125), Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus (Anlage zum BASt-Bericht B 131)	BIM-Modell ■ Anforderungen an Beton-Nachbehandlung Externe Dateien (über ein mobiles Formular erzeugt) ■ Ausgefüllte Checklisten (nach entsprechender Richtlinie)	Die Informationen über die Nachbehandlung aus dem digitalen Formular werden über eine Datenbank mit den entsprechenden BIM-Objekten verknüpft. Auf dieser Basis wird ausgewertet, ob die Nachbehandlung dokumentiert wurde und ob die Anforderungen eingehalten wurden.
Arbeitsfugen	Die Überprüfung der fachgerechten Ausführung der Arbeitsfugen stellt die korrekte Ausführung und Dokumentation und damit Langlebigkeit der Arbeitsfugen sicher. In Anlehnung an: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit (BASt-Bericht B 125), Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus (Anlage zum BASt-Bericht B 131)	BIM-Modell ■ Lokalisierung der Arbeitsfugen über Attribute Externe Dateien (über ein mobiles Formular erzeugt) ■ Ausgefüllte Checklisten (nach entsprechender Richtlinie)	Die Informationen über die Nachbehandlung aus dem digitalen Formular werden über eine Datenbank mit den entsprechenden BIM-Objekten verknüpft. Auf dieser Basis wird ausgewertet, ob die Arbeitsfugen fachgerecht ausgeführt wurden.
Bauwerksressourcenpass	Der Bauwerksressourcenpass beschreibt, welcher Anteil des Bauwerks recyclingfähig ist. In Anlehnung an: DGNB System Gebäude Neubau (DGNB Version 2023)	BIM-Modell Externe Dateien ■ Technische Spezifikationen/Herstellerinformationen der Materialien zu Recyclinganteilen, Kreislauffähigkeit, Wiederverwendbarkeit, etc.	Die Informationen aus den Herstellerinformationen werden mit den verschiedenen Baustoffen verknüpft. Über eine Analyse der Massen können die Anteile recyclingfähiger Baustoffe ermittelt werden.

Tabelle 6: Indikatoren, die mit dem Umsetzungsverfahren „Analyse der Attribute des BIM-Modells“ bewertet werden können

Indikator/Indikatorengruppe	Beschreibung	Für die Umsetzung benötigte Eingangsdaten	BIM-gestützte Umsetzung
Anprallgefahr für Vögel	Transparente Lärmschutzwände bieten eine erhöhte Anprallgefahr für Vögel und müssen entsprechend beklebt werden. In Anlehnung an: Nachhaltigkeitsbewertung von Streckenzügen der Straßeninfrastruktur (BASt-Bericht V 361)	BIM-Modell ▪ Attributierte Lärmschutzwände	Es wird geprüft, ob der Attributwert für Transparenz einen gewissen Grenzwert überschreitet.
Pressansatzpunkte	Die Verortung und Dokumentation der Pressansatzpunkte schaffen die Basis für einen reibungslosen Lagerwechsel im Lebenszyklus. In Anlehnung an: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit (BASt-Bericht B 125), Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus (Anlage zum BASt-Bericht B 131)	BIM-Modell ▪ Attributierte Pressansatzpunkte	Die Überprüfung beinhaltet die Prüfung, ob die Pressansatzpunkte für einen späteren Lagerwechsel im Modell dokumentiert sind.
Übergangskonstruktionen	Je mehr Übergangskonstruktionen es gibt, desto höher ist die Lärmbeeinträchtigung. In Anlehnung an: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit (BASt-Bericht B 125), Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus (Anlage zum BASt-Bericht B 131)	BIM-Modell ▪ Attributierte Fahrbahnübergänge	Zunächst wird geprüft, ob die Brücke sich in bebautem Gebiet findet. Sollte dies der Fall sein, werden Anzahl und Art der Fahrbahnübergänge sowie die Kreuzungswinkel zur Trasse ermittelt. Daraus ergibt sich die Lärmbelästigung durch Fahrbahnübergänge.
Winterdienstoptimierung	Die Verortung und Dokumentation von Zusatzausstattungen für den Winterdienst (z. B. Glättemelder) optimieren dessen Arbeitsweise. In Anlehnung an: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit (BASt-Bericht B 125), Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus (Anlage zum BASt-Bericht B 131)	BIM-Modell ▪ Attributierte Elemente für Winterdienst (z. B. Glättemelder)	Es wird geprüft, ob Zusatzausstattungen für den Winterdienst vorhanden und entsprechend korrekt attribuiert sind.
Wiederverwendung	Die Wiederverwendung beschreibt, welcher Anteil des Bauwerks aus wiederverwendeten Materialien oder Bauteilen besteht. In Anlehnung an: DGNB System Gebäude Neubau (DGNB Version 2023)	BIM-Modell ▪ Attribut über Wiederverwendung	Im Modell ist an Bauteilen oder Baustoffen hinterlegt, ob diese wiederverwendet wurden. Über eine Multiplikation mit den verbauten Mengen und Massen lässt sich der Grad der Wiederverwendung bestimmen.

8 Anhang B: Begriffe

Nachhaltigkeit
Die Definition des Nachhaltigkeitsbegriffes wird aus den jeweiligen Nachhaltigkeitsbewertungssystemen übernommen und schließt in einer ganzheitlichen Betrachtung bspw. auch die Prozessqualität oder die Technische Qualität mit ein. Dabei muss nicht jeder einzelne Indikator dem subjektiven Begriffsverständnis der ‚Nachhaltigkeit' entsprechen. Jedoch kann z. B. die Bedeutung der Überprüfung auf Einhaltung von Vorschriften und Normen (Abnahme/Qualitätskontrolle) für die Nachhaltigkeitsbewertung im Rahmen der Priorisierung (Aufwand/Nutzen-Bewertung im Workshop) bewertet werden.

BIM-gestützte Nachhaltigkeitsanalyse
Bei der BIM-gestützten Nachhaltigkeitsanalyse dienen das BIM-Modell und weitere digitale Eingangsdaten als Datengrundlage für die Berechnung von verschiedenen Indikatoren. Die BIM-gestützte Nachhaltigkeitsanalyse schließt somit auch Datenquellen, Operationen und Berechnungen außerhalb des führenden Systems (z. B. in CAD, GIS) mit ein.

(Nachhaltigkeits-)Indikator
Ein (Nachhaltigkeits-)indikator ist eine messbare oder berechenbare Kenngröße, um einen komplexen Sachverhalt vereinfacht darzustellen. Zum Beispiel das Treibhauspotenzial.

Indikatorgruppe
Zusammenfassung von gleichwertigen Indikatoren in einer Gruppe. Ein Beispiel sind Indikatoren zur Beschreibung von Umweltauswirkungen in verschiedenen Wirkungskategorien, die in der Indikatorgruppe „globale Umweltwirkungen" zusammengefasst werden.

Kriterien
Kriterien setzen sich aus Indikatoren zusammen, die wiederum für sich betrachtet werden. Die gewählte Betrachtungsebene ist die der Indikatoren, übergeordnete Ebenen werden nur hintergründig betrachtet.

(Haupt-)Kriteriengruppe
Zusammenfassung von Kriterien unter einem Schwerpunkt (z. B. Prozessqualität)

Nachhaltigkeitsbewertung
Kombination von mehreren Indikatoren unterschiedlicher Nachhaltigkeitsqualitäten in einem Bewertungssystem, das die einzelnen Indikatorergebnisse normalisiert und wichtet. Auf diese Weise kann ein Bewertungsergebnis (Gesamtergebnis, Note, Gütesiegelergebnis) ermittelt werden.

Berechnungsmethode
Spezifisches Verfahren in einem Nachhaltigkeitsbewertungssystem, das einen Indikator oder mehrere Indikatoren in einem Kriterium messbar macht (z. B. Lebenszykluskostenrechnung, Checkliste)

Umsetzungsverfahren
‚Umsetzungsverfahren' ist ein organisatorischer Begriff für die technischen Umsetzungsmöglichkeiten, anhand derer sich die Indikatoren klassifizieren/gruppieren lassen.

Berechnungsergebnis (Indikatorergebnis)
Im Kontext der BIM-gestützten Nachhaltigkeitsanalyse liefert die Anwendung eines Umsetzungsverfahrens das Berechnungsergebnis für einen Indikator (Indikatorergebnis).

Implementierungs- und Projektaufwand
Aggregierung subjektiver Einzelbewertung zur Auswahl von Indikatoren für die weitere Betrachtung über den erwarteten übergeordneten und einmaligen Implementierungsaufwand durch die BIM-Unterstützung bzw. wiederkehrende Projektaufwände, die bei jeder Indikatorberechnung anfallen. Je nach Bewertungsfokus sind die beiden Aufwände voneinander abhängig: Ein hoher Implementierungsaufwand führt zu geringeren Projektaufwänden und umgekehrt.

Nutzen
Aggregierung subjektiver Einzelbewertung zur Auswahl von Indikatoren für die weitere Betrachtung über den erwarteten Nutzen durch die BIM-Unterstützung für die Berechnung eines Indikators bzw. über das Potenzial durch die BIM-Unterstützung nach Anpassung/Weiterentwicklung eines Indikators.

Infrastrukturelement (verkehrsbezogen)
In diesem Praxisdokument werden unter einem Infrastrukturelement alle Bestandteile der Verkehrsinfrastruktur verstanden, die jeweils unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Beispiele für Infrastrukturelemente sind Straßen, Brücken und Tunnel.

Straße, Strecke, Streckenzug
Bei der ‚Straße' handelt es sich um einen Überbegriff mit mehreren Bedeutungen: Der Begriff der ‚Strecke' wird in Abgrenzung zu den Ingenieurbauwerken (Brücke und Tunnel) verwendet. Die Strecke lässt sich in Knotenpunkte und ‚freie Strecke' unterscheiden. Ist der Baukörper selbst gemeint, so wird der Begriff ‚Straßenkörper' verwendet. Bei einem ‚Streckenzug' handelt es sich um eine Aneinanderreihung von Infrastrukturelementen (freie Strecke, Knotenpunkt, Brücke, Tunnel).

Linienbestimmung
Im Regelwerk Begriffsbestimmungen für das Straßen- und Verkehrswesen – BBSV, FGSV, 2020 wie folgt definiert: Verwaltungsverfahren zur Festlegung der Linienführung von Bundesfernstraßen durch den für Verkehr zuständigen Bundesminister im Benehmen mit den betroffenen Ländern.

Raumordnungsverfahren
Im Regelwerk (Begriffsbestimmungen für das Straßen- und Verkehrswesen – BBSV, FGSV, 2020) wie folgt definiert: Gesetzlich geregeltes Verfahren zur Abstimmung von raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen mit den Zielen und Grundsätzen der Raumordnung.

Standardraumelement
Definition nach Richtlinien für die Anlage von Landstraßen – (RAL, FGSV, 2012)
Standardraumelemente entstehen, wenn Beginn und Ende von Kurven im Lageplan mit dem Beginn von Kuppen und Wannen im Höhenplan zusammenfallen. (vgl. Kapitel 5.4.2 RAL)

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verfahrensablauf für die Integration von BIM und Nachhaltigkeitsanalysen S. 06

Abbildung 2: Schwerpunktlegung von Forschungsprojekten zur Integration der BIM-Methode in Prozesse der Nachhaltigkeitsanalysen S. 16

Abbildung 3: Umsetzungsverfahren „Verknüpfung von BIM-Objekten mit externen Datenquellen“ S. 18

Abbildung 4: Beispielumsetzung für den Indikator Treibhauspotenzial S. 19

Abbildung 5: Umsetzungsverfahren „Verknüpfung von BIM und GIS“ S. 20

Abbildung 6: Beispielumsetzung für den Indikator Flächeninanspruchnahme S. 21

Abbildung 7: Umsetzungsverfahren „Analyse der Geometrie des BIM-Modells“ S. 22

Abbildung 8: Beispielumsetzung für den Indikator „Ausfallsicherheit der Brücke“ S. 23

Abbildung 9: Umsetzungsverfahren „Verknüpfung von BIM-Modell mit externen Dokumenten/Dateien“ S. 24

Abbildung 10: Beispielumsetzung für den Indikator „Qualitätssicherung der Bauausführung hinsichtlich der Nachbehandlung von Beton“ S. 25

Abbildung 11: Umsetzungsverfahren „Analyse der Attribute des BIM-Modells“ S. 26

Abbildung 12: Beispielumsetzung für den Indikator „Anprallgefahr für Vögel“ S. 27

Abbildung 13: Auswahlprozess geeigneter Indikatoren für eine automatisierte Nachhaltigkeitsbewertung S. 28

Abbildung 14: Form der Ergebnisdarstellung für das Nutzen-Aufwand-Verhältnis S. 30

Abbildung 15: Bewertung des Nutzen-Aufwand-Verhältnis für die BIM und GIS-gestützten Nachhaltigkeitsindikatoren S. 31

Abbildung 16: Einfluss von Nachhaltigkeitsanalysen und Datenverfügbarkeit über den Projektfortschritt (qualitativ, nicht maßstäblich) S. 33

Abbildung 17: Mögliche Systematik zur Berücksichtigung unterschiedlicher Bewertungszeitpunkte S. 34

Abbildung 18: Vorschlag für die Integration einer neuen Methode in bestehende Nachhaltigkeitsbewertungssysteme S. 35

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Internationale Nachhaltigkeitsbewertungssysteme S. 10

Tabelle 2: Indikatoren die mit dem Umsetzungsverfahren „Verknüpfung von BIM-Objekten mit externen Datenbanken“ bewertet werden können S. 37

Tabelle 3: Indikatoren die mit dem Umsetzungsverfahren „Verknüpfung von BIM und GIS“ bewertet werden können S. 39

Tabelle 4: Indikatoren die mit dem Umsetzungsverfahren „Analyse der Geometrie des BIM-Modells“ bewertet werden können S. 53

Tabelle 5: Indikatoren die mit dem Umsetzungsverfahren „Verknüpfung von BIM-Modell mit externen Dokumenten/Dateien“ bewertet werden können S. 57

Tabelle 6: Indikatoren die mit dem Umsetzungsverfahren „Analyse der Attribute des BIM-Modells“ bewertet werden können S. 59

Impressum

Herausgeber
Bundesministerium für Verkehr
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

Autoren (in alphabetischer Reihenfolge)
Julian Best (Durth Roos Consulting GmbH)
René Herb (Durth Roos Consulting GmbH)
Rainer Hess (Durth Roos Consulting GmbH)
Martina Lohmeier (Durth Roos Consulting GmbH)
Matthias Miklós (CIRCON GmbH)
Simon Schorlemmer (HOCHTIEF Engineering GmbH, ViCon)
Lothar Temme (Durth Roos Consulting GmbH)
Tim Zinke (HOCHTIEF Engineering GmbH, ViCon)

Inhaltliche Betreuung
Alexander Bräunlich (DEGES)
Katharina Rapic (DEGES)
Stephan Siegert (DEGES)

Stand
März 2026

Bildnachweis
Markus Braumann

Diese Publikation wird von der Bundesregierung im Rahmen ihrer Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Die Publikation wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

www.bmv.de