



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

Gefördert durch:



SusInfra

SusInfra-Rahmendokument

Projekt: SusInfra – Sustainability in Infrastructure - FKZ: 19F2240A

Entwicklung eines intelligenten Nachhaltigkeitsbewertungstools von
Infrastruktur-projekten auf Basis digitaler, georeferenzierter BIM-Modelle

Version 2.0

StatSoft



ISAC
G M B H



customQuake

PRAXIS
Software für die Branche



RWTHAACHEN
UNIVERSITY



RWTHAACHEN
UNIVERSITY



RWTHAACHEN
UNIVERSITY

Vorwort

Der Bausektor verursacht einen Anteil von rund 40 % der weltweiten CO₂-Emissionen (United Nations Environment Programme, 2020). In Anbetracht der Klimaerwärmung und den Klimazielen der Vereinten Nationen, steigt die Relevanz der Nachhaltigkeitsbetrachtung im Infrastruktursektor mit zunehmender Alterung der verbauten Materialien. Der Bau von Straßen und Ingenieurbauwerken kennzeichnet sich unter anderem durch den Einsatz großer Mengen an Materialien, die aus natürlichen Ressourcen gewonnen werden, sowie die Entstehung schädlicher Emissionen über den gesamten Lebenszyklus. In Anbetracht der Klimaerwärmung und den Klimazielen der Vereinten Nationen, steigt die Relevanz der Nachhaltigkeitsbetrachtung im Infrastruktursektor, nicht nur auf ökologischer, sondern ebenso auf sozialer und ökonomischer Ebene.

Straßen sind ein wesentliches Element für eine funktionsfähige Wirtschaft und Gesellschaft. Durch eine vorausschauende Planung von Straßen, unter Anbetracht von Nachhaltigkeitsaspekten, soll eine lange Lebensdauer und somit die Verfügbarkeit der kritischen Infrastruktur sichergestellt werden. Auf diese Weise können Zeit, Kosten und Ressourcen effizienter genutzt werden.

Das Projekt SusInfra befasst sich daher mit der Nachhaltigkeitsleistung von Straßen sowie innovativen Technologien zur Entscheidungsunterstützung. Das Ziel ist ein intelligentes BIM-basiertes Nachhaltigkeitsbewertungstool.

Im vorliegenden Rahmendokument wird ein erstes Leitbild zur Nachhaltigkeit im Straßenwesen dargelegt, die aktuellen Herausforderungen im Straßenbau identifiziert sowie Chancen und Herausforderungen für die modellbasierte Nachhaltigkeitsbewertung aufgezeigt. Das Rahmendokument wird im Laufe des Forschungsprojektes um die gewonnenen Erkenntnisse erweitert. Änderungen aufgrund neuer Erkenntnisse bleiben vorbehalten.

Wenn Sie Anmerkungen zum SusInfra-Ansatz und unserem Vorgehen haben oder interessiert sind, am Projekt mitzuwirken kontaktieren Sie uns gerne unter kaus@icom.rwth-aachen.de!

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	2
INHALTSVERZEICHNIS	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
TABELLENVERZEICHNIS	5
GENDERKLAUSEL	6
1 NACHHALTIGKEIT IM STRAßENBAU – EIN LEITBILD	8
2 AKTUELLE HERAUSFORDERUNGEN IM STRAßENWESEN	12
2.1 STATUS QUO IM STRAßENBAU	12
2.1.1 Allgemein	12
2.1.2 Stakeholder im Straßenbau	14
2.1.3 Standarddatenformate	16
3 DER SUSINFRA-ANSATZ	19
3.1 DIE FUNKTIONALE AUSSCHREIBUNG ALS VORAUSSETZUNG	21
3.2 CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN	21
3.2.1 Herausforderungen der modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung	22
3.2.2 Chancen der modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung	24
3.3 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWINDUNG DER HERAUSFORDERUNGEN ..	26
4 AUSBLICK	28
LITERATURVERZEICHNIS	30
IMPRESSUM	33

Abbildungsverzeichnis

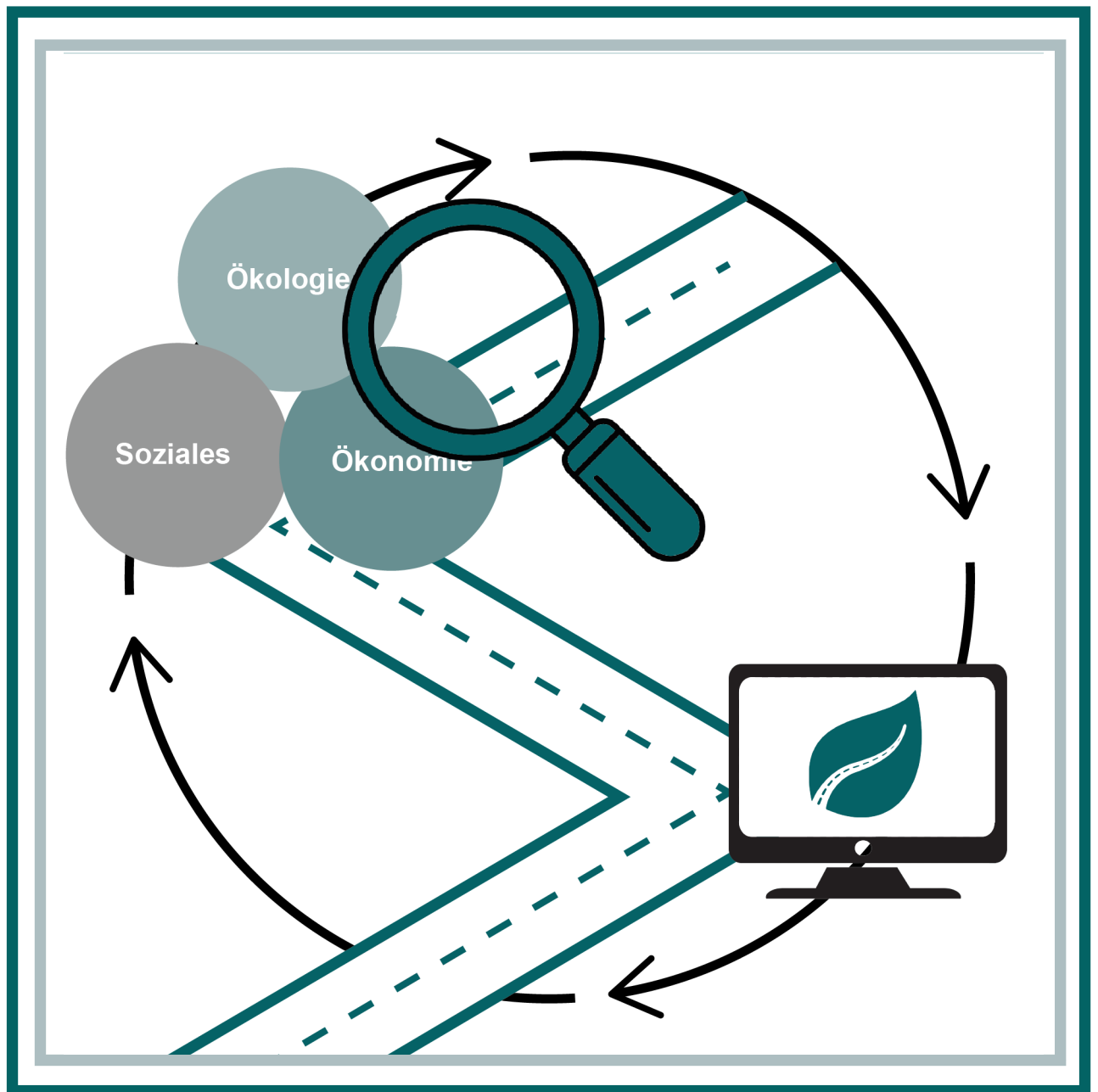
Abbildung 1 Meistgenutzte Datenstandards und Datenformate im Straßenwesen (basierend auf BAST, 2024)	15
Abbildung 2 Herausforderungen der modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung	22
Abbildung 3 Chancen der modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Identifizierte Stakeholder in den Ist-Prozessen im Straßenbau (eigene Darstellung, ICoM).....	15
Tabelle 2 Handlungsempfehlungen zur Begegnung der Herausforderungen	27

Genderklausel

In diesem SusInfra-Rahmendokument werden zur allgemeinen Bezeichnung von Personen das generische Maskulin und genderneutrale Formulierungen verwendet. Dabei werden alle Geschlechter inkludiert, es sei denn, dass auf eine einzelne reale Person Bezug genommen wird. Die Vereinfachung dient lediglich einer einfacheren Lesbarkeit und soll keine Personengruppen ausschließen.



1 Nachhaltigkeit im Straßenbau – ein Leitbild

Das übergeordnete Ziel des Forschungsprojekts SusInfra ist die Erhöhung der Nachhaltigkeit im Straßenwesen. Was Nachhaltigkeit in diesem Kontext genau bedeutet und an welcher Stelle im Lebenszyklus einer Straße das Projekt ansetzt, ist im folgenden Leitbild dargelegt.

Allgemein

Die UN formuliert als globales Leitbild eine nachhaltige Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart so befriedigt, dass die Möglichkeiten zukünftiger Generationen nicht eingeschränkt werden (UN, 1987). Die Umsetzung dieses Leitbildes soll in einem ökologisch belastbaren Rahmen stattfinden, sozial gerecht aber auch wirtschaftlich tragfähig sein. Die politische Forderung des nachhaltigen Handelns einer Gesellschaft stellt gleichermaßen eine Herausforderung als auch ein großes Potenzial für wirtschaftliche Entwicklung, soziale Gerechtigkeit und aktiven Umweltschutz dar. Zur Befriedigung der menschlichen Grundbedürfnisse ist der Ortswechsel durch Verkehr unumgänglich. Um Verkehr abwickeln zu können wird eine leistungsfähige Infrastruktur benötigt. Das Straßenwesen ist als ein zentrales Element einer funktionalen Infrastruktur mit den drei Säulen der Nachhaltigkeit „Ökonomie“, „Ökologie“ und „Soziales“ eng verknüpft und stellt insofern einen wichtigen Faktor auf dem Weg zu einer nachhaltigen Gesellschaft dar. Diese Transformation erfordert einen ganzheitlichen Bewertungsansatz, der die Auswirkungen eines Straßenbauprojektes quantifizierbar macht, um die Nachhaltigkeit durch belastbare Aussagen weiter voranzubringen. Mit dem in SusInfra zu entwickelnden Nachhaltigkeitsbewertungstool für das Straßenwesen wird ein wichtiger Beitrag geleistet, um das Ziel der Steigerung der Nachhaltigkeitsleistung im Straßenwesen durch die Berechnung der Auswirkungen eines Projektes auf die drei Säulen der Nachhaltigkeit, zu erreichen. Durch die Methode der Nachhaltigkeitsbewertung über den gesamten Lebenszyklus wird das komplexe Thema wissenschaftlich fundiert für alle Akteure im Bereich des Straßenwesens aufbereitet. Die Ergebnisse können an Experten und Nicht-Experten der Nachhaltigkeitsbewertung vermittelt werden und unterstützen gleichermaßen Entscheidungsträger.

Die innovative Digitalisierung des Themas der Nachhaltigkeit erlaubt es, unter Einbeziehung aller Prozessphasen im Straßenwesen, eine holistische Bewertung durchzuführen und Auswirkungen von Aspekten der Nachhaltigkeit über den gesamten Lebenszyklus frühzeitig zu identifizieren.

Das Nachhaltigkeitsbewertungstool wird in der zentralen Ausschreibungsphase von Straßenprojekten zu einer transparenten Bewertung der Nachhaltigkeit führen, aber auch über diese Prozessphase hinaus durch klare Handlungsempfehlungen eine wichtige Entscheidungshilfe darstellen. Von zentraler Bedeutung ist dabei, als Grundprinzip der Nachhaltigkeit, die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines Projektes. Nur auf diesem Weg kann das globale Leitbild der UN für eine nachhaltige Entwicklung zum optimalen Nutzen für die Gesellschaft und die Umwelt erfolgreich umgesetzt werden.

Ausschreibungsphase

Wie in der späteren Analyse aktueller Herausforderungen im Straßenbau analysiert, stellt die Ausschreibungsphase ein zentrales Element in dem Lebenszyklus eines Straßenprojektes dar. Durch das Nachhaltigkeitsbewertungstool wird die Möglichkeit eröffnet, Nachhaltigkeitsaspekte transparent und effizient in die Beurteilung von Projekten zu gestalten und einzubeziehen und somit den Bewertungsrahmen thematisch im Sinne einer funktionalen Ausschreibung zu erweitern.

Durch die flexible Struktur des Nachhaltigkeitsbewertungstool können zudem im Vorfeld des Ausschreibungsprozesses auf einheitliche, nachvollziehbare und damit justiziable Weise zielgerichtet Präferenzen in Bezug auf die Nachhaltigkeit durch den Auftraggeber angepasst werden. Auf Seiten des Auftragnehmers wird der Ausschreibungsprozess durch diese klare Fixierung deutlich transparenter und wird somit zu einer Steigerung der Qualität der Angebote bezüglich der Nachhaltigkeitsleistung führen. Das Nachhaltigkeitsbewertungstool wird somit zu einer effizienteren Planung bezüglich des Ressourceneinsatzes (Energie, Material, Personal, Kosten etc.) beitragen.

Die innovationsfördernde Struktur des Nachhaltigkeitsbewertungstool wird darüber hinaus zu einer Vereinfachung des Ausschreibungsprozesses führen und somit auch den Mittelstand fördern.

Lebenszyklusansatz

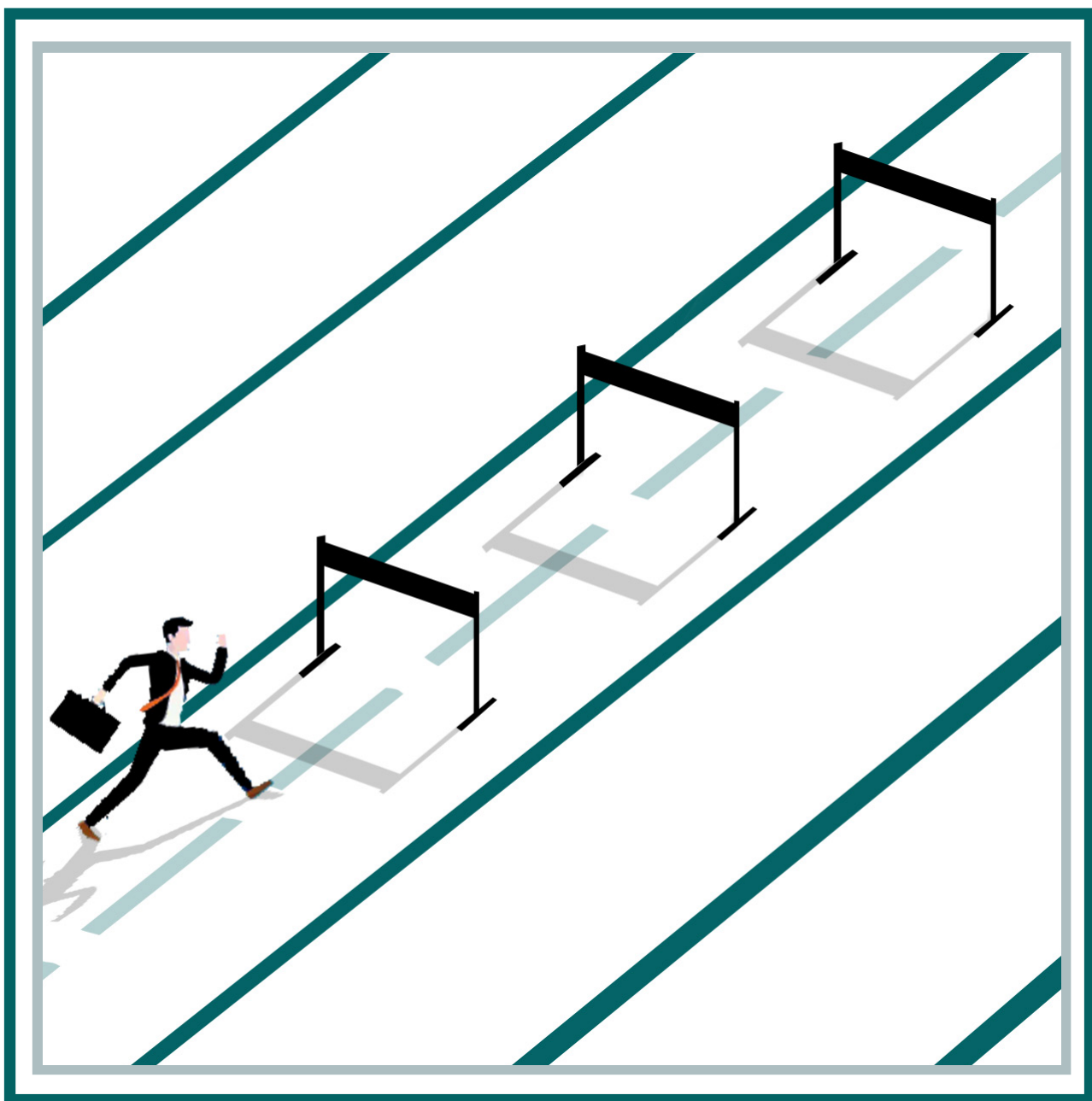
Das Straßenwesen ist mit einem hohen Verbrauch von Rohstoffen verbunden. Hier kann die digital gestützte modellbasierte Nachhaltigkeitsbetrachtung einen wesentlichen Beitrag zur effizienteren Nutzung von Rohstoffen beitragen. Diese Betrachtung ist gekoppelt mit der Bewertung des energetischen Aufwandes der Materialproduktion, der, im Einklang mit dem Rohstoffeinsatz, optimiert wird.

Eine effizientere Ressourcennutzung wird über den gesamten Lebenszyklus bezogen auf alle Säulen der Nachhaltigkeit eine deutliche Steigerung der Nachhaltigkeitsleistung von Straßenbauprojekten bewirken. Es wird dafür ein ganzheitlicher Ansatz über alle Phasen eines Straßenprojektes (Von der Wiege bis zur Bahre) unter Berücksichtigung der Interessen unterschiedlicher Stakeholder verfolgt, der dazu beitragen wird, das Thema der Nachhaltigkeit aktiv in Straßenprojekte zu integrieren.

Gesellschaft/Umwelt

Die Verpflichtung zu nachhaltigem Handeln ist drängender denn je. Der rasant fortschreitende Klimawandel, Engpässe in der Versorgung mit Rohstoffen oder auch die soziale Verantwortung für die Gesellschaft im direkten Umfeld des Straßenwesens aber auch weit darüber hinaus zwingen die Wirtschaft zu einem Umdenken. Dieser Wandel wird durch das Nachhaltigkeitsbewertungstool aktiv unterstützt, indem die Auswirkungen des Straßenwesens auf die Gesellschaft aufgezeigt und hinsichtlich einer optimierten Nachhaltigkeitsleistung bewertet werden.

2



2 Aktuelle Herausforderungen im Straßenwesen

2.1 Status quo im Straßenbau

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden Experteninterviews zur Analyse des Status quo des Straßenwesens geführt. Das Ziel dieser war es, die aktuellen Prozesse von der Grundlagenermittlung bis zur Bauausführung hinsichtlich des Digitalisierungs-grades, der Informationsflüsse und des Ausmaßes von Nachhaltigkeitsbetrachtungen zu analysieren. Vor dem Hintergrund der Bemühungen um mehr Nachhaltigkeit im Straßenwesen werden insbesondere die Einforderung, Legung und Bewertung von Angeboten beleuchtet, um einen nachhaltigeren Soll-Prozess und den optimalen Einsatz eines Nachhaltigkeitsbewertungstools zu definieren. Im Folgenden werden zunächst die zentralen Erkenntnisse zu den tradierten Prozessen im Straßenwesen dargestellt und schließlich die daraus abgeleiteten Soll-Prozesse skizziert.

2.1.1 Allgemein

Kern der Untersuchung in SusInfra ist die Ermittlung des Zeitpunktes mit der hinreichenden Informationsdichte zur aussagekräftigen Bewertung der Nachhaltigkeit im Planungsprozess. In den frühen Planungsphasen, das heißt in der Bedarfsermittlung und Grundlagenermittlung, sind Nachhaltigkeitsbetrachtungen zwar relevant, eignen sich jedoch nur für die Ermittlung von Richtwerten. Eine genaue Bewertung der später gebauten Straße ist zu diesem Zeitpunkt nicht möglich, da viele Entscheidungen (z. B. Material und Bauweise) erst zu einem späteren Zeitpunkt getroffen werden. Stattdessen steht zu Projektbeginn die Entscheidung über die Linienführung im Vordergrund. In der Grundlagenermittlung finden dann zwar erste Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit statt, die Planung ist jedoch nicht weit genug fortgeschritten, um die genaue Linienführung, Querschnitte oder Volumina zu bestimmen. In der Vorplanung werden dann verschiedene Varianten der Linienführung untersucht und die Vorzugsvariante ermittelt. Aktuell werden jedoch selten Straßen mit komplett neuer Linienführung gebaut, weshalb die nachhaltige Optimierung an dieser Stelle weniger relevant ist. In der Entwurfsplanung wird schließlich ein erster technischer Straßenentwurf erarbeitet, der Lagepläne, Höhenpläne und erste Querschnitte enthält. Auch die Umweltverträglichkeit sowie soziale Aspekte, bspw. Lärm- und Artenschutz, werden in dieser Leistungsphase weiter geprüft.

Die Geometrie und die Wahl der Materialien werden hier lediglich grob definiert. Nach der Genehmigungsplanung und dem darin verankerten Planfeststellungsverfahren, werden die Pläne in der Ausführungsplanung ausdetailliert. Erst hier werden exakte Bestimmungen für das Material, die Bauweise und genaue Mengen festgelegt. Da in einer Nachhaltigkeitsbetrachtung das Material und die Mengen essenzielle Aspekte der ökologischen und ökonomischen Betrachtung sind, ist erst hier ein Detailgrad erreicht, der für den Einsatz eines Nachhaltigkeitsbewertungstools geeignet ist.

Die Ausführungsplanung wird schließlich meist in ein Leistungsverzeichnis überführt, mit dem die Ausschreibung und Vergabe erfolgt. Folglich haben die bietenden Unternehmen nur wenig Einfluss auf die Nachhaltigkeit der Ausführungsweise und die Angebote der Ausführenden unterscheiden sich nur in einem geringen Ausmaß. Im Rahmen einer Ausschreibung mit Leistungsbeschreibung sind die Angebote vielfältiger und können den Wettbewerb im Hinblick auf die Stärkung der Nachhaltigkeit fördern. Auf der Seite des Auftraggebers werden Zuschlagskriterien definiert, die die Bewertung der Angebote ermöglichen. Trotz der steigenden Relevanz von Nachhaltigkeitskriterien sind diese bis heute gering in der Zuschlagserteilung gewichtet. Der Preis ist weiterhin das am stärksten gewichtete Kriterium. Um den Straßenbau nachhaltiger zu gestalten, benötigt es Anreize, nachhaltigere Bauvarianten zu bevorzugen. Weiterhin muss die Beurteilung der Nachhaltigkeit eines Angebots für Auftraggeber und Auftragnehmer einfacher gestaltet sein.

Damit ist als zentrales Ergebnis festzuhalten, dass die Leistungsphasen fünf bis sieben der HOAI das höchste Potential für die Integration einer Nachhaltigkeitsbewertung aufweisen. In diesen Phasen werden zentrale Entscheidungen getroffen, die Auswirkung auf die ökologischen, ökonomischen und sozialen Eigenschaften der Straße haben. Hier kann ein Nachhaltigkeitsbewertungstool für ein höheres Nachhaltigkeitsbewusstsein bei den verschiedenen Akteuren führen. Folglich soll das Nachhaltigkeitsbewertungstool mit dem Ziel entwickelt werden, dass Auftraggeber und Auftragnehmer dieses in den Phasen der Ausschreibung und Vergabe nutzen, um Angebote nachhaltiger zu gestalten und diese basierend auf verschiedenen Kriterien bewerten zu können. Voraussetzung dafür ist die Etablierung der Ausschreibung mit funktionaler Leistungsbeschreibung. Diese legt den Grundstein für den Ideenwettbewerb und kann somit die Innovationskräfte der Unternehmen mobilisieren.

2.1.2 Stakeholder im Straßenbau

Im Rahmen der Gliederung der Projektbeteiligten der Ist-Prozesse wurden im Rahmen des Projekts SusInfra 42 Stakeholder identifiziert, die entweder der Auftraggeber- oder der Auftragnehmerseite zuzuordnen sind. Während Planungs- und Ausführungsleistungen beide Seiten betreffen, werden gutachterliche Leistungen ausschließlich von Auftragnehmern und die Bedarfsplanung von Auftraggeberseite erbracht. Zu letzteren gehören BMDV und das Bundeskabinett.

Auf der Ebene der Planungsleistungen gehören Bauherr, Projektleiter, Projektsteuerer, BIM-Manager sowie allgemeine Experten zur Auftraggeberseite. Ihnen gegenüber stehen auf Auftragnehmerseite verschiedene BIM-Akteure (Gesamtkoordinator, Koordinator, Autor eines Fachgebietes), Generalunternehmer, Verkehrs- und Straßenplaner sowie Planer für Ingenieurbauwerke. Hinzukommen Verkehrsleittechniker, Geotechniker, Vermesser, Lärmschutzplaner, Umweltplaner/LCA-Experten und Landespfleger. Gutachterliche Leistungen werden auf Auftragnehmerseite in den Bereichen Baugrund, Altlasten, Kampfmittel, Lärm- und Erschütterung, Umwelt, Grundstücks- und Gebäudewert sowie Gestaltung von Ingenieurbauwerken erbracht und durch bautechnische Planprüfer, rechtliche Berater und Träger öffentlicher Belange ergänzt.

Bei Ausführungsleistungen lassen sich lediglich der Objektüberwacher und Bauleiter der Auftragnehmerseite zuordnen. Auf Auftragnehmerseite finden sich neben dem bereits in der Planung vorkommenden Vermesser die Stakeholder Verkehrsleittechniker/Signaltechniker, Landschaftsbauer, Fahrbahnmarkierer, Straßenbauer, Asphaltierer, Erd- und Tiefbauer, Materialproduzent sowie Ausführende für die Lärmschutzwände und Entwässerung, die sich oberflächlich als „Bauunternehmer“ bezeichnen lassen.

Im Rahmen der Untersuchung der Soll-Prozesse finden sich vier wesentliche Stakeholder wieder. Auf der Auftragnehmerseite stehen im Rahmen der Planungsleistungen die Projektleiter und BIM-Akteure. Gutachterliche Leistungen werden auf Auftragnehmerseite durch Nachhaltigkeitsauditoren und Lebenszyklusanalysten erbracht. Eine Zusammenfassung der identifizierten Stakeholder sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen. Die Auflistung der Stakeholder hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit und steht in Abhängigkeit zur Unternehmereinsatzform.

Gruppe		Stakeholder	Aufgabe	
Bedarfsplanung	Auftraggeberseite	BMDV	Erstellt Bedarfsplan	
		Bundeskabinett	Beschließt Bundesverkehrswegeplan	
Planungsleistungen	Auftraggeberseite	Bauherr	Verantwortlich für die Projektinitiierung und Finanzierung	
		Projektleiter	Koordiniert das Gesamtprojekt und trifft zentrale Entscheidungen	
		Projektsteuerer	Überwacht Termine, Kosten und Qualitäten des Projekts	
		BIM-Manager	Verantwortlich für die Implementierung und Verwaltung von BIM im Projekt	
		Allg. Experte	Bietet Fachwissen in einem spezifischen Bereich des Straßenbaus	
	Auftragnehmerseite	BIM-Gesamtkoordinator	Koordiniert alle BIM-bezogenen Aktivitäten und Prozesse	
		BIM-Koordinator	Unterstützt den BIM-Manager und koordiniert die Modellierungsarbeiten	
		BIM-Autor Fachmodell	Erstellt und pflegt die BIM-Modelle für ein Fachgebiet	
		Generalunternehmer	Führt die Bauausführung als Hauptauftragnehmer durch	
		Verkehrsplaner	Entwickelt Verkehrskonzepte und -lösungen	
		Straßenplaner	Plant die geometrische Anordnung und Konstruktion der Straße	
		Planer für Ingenieurbauwerke	Entwirft Brücken, Tunnel und andere Bauwerke	
		Verkehrsleitetechniker	Plant und implementiert Verkehrsleit- und Signalanlagen	
		Geotechniker	Analysiert Bodenverhältnisse und gibt Empfehlungen für das Fundament	
		Vermesser	Führt Vermessungen für Planung und Bauausführung durch	
		Lärmschutzplaner	Entwickelt Konzepte zur Lärminderung	
		Umweltplaner/LCA-Experten	Berücksichtigt ökologische Aspekte in der Planung	
		Landespfleger	Erstellt Landschaftspflegerischen Ausführungsplan	
		Gutachterliche Leistungen	Baugrundgutachter	Beurteilt die Eignung des Baugrunds
			Altlastengutachter	Untersucht das Baugelände auf Altlasten
Kampfmittelgutachter	Prüft das Baugelände auf Kampfmittel			
Lärm- und Erschütterungsgutachter	Bewertet Lärm- und Erschütterungsrisiken			
Umweltgutachter	Erstellt Gutachten zu Umweltauswirkungen des Projekts			
	Grundstücks- oder Gebäudebewertungsgutachter	Schätzt den Wert von Grundstücken oder Gebäuden		

Gruppe		Stakeholder	Aufgabe
Ausführungsleistungen		Gestaltung Ingenieurbauwerke - Gutachter	Beurteilt die Gestaltung von Ingenieurbauwerken
		Bautechnischer Planprüfer	Überprüft die technischen Planungsunterlagen
		Rechtlicher Berater	Berät zu rechtlichen Fragen im Projekt
		Träger öffentlicher Belange	Wird im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung einbezogen
	Auftraggeberseite	Objektüberwacher	Überwacht die Bauausführung auf Übereinstimmung mit den Plänen
		Bauleiter	Leitet die Baustelle und koordiniert die Bauausführung
	Auftragnehmerseite	Verkehrsleittechniker/Signaltechniker	Installiert und wartet Verkehrsleit- und Signaltechnik
		Landschaftsbauer	Gestaltet die landschaftlichen Aspekte des Straßenraums
		Fahrbahnmarkierer	Trägt Markierungen auf der Fahrbahn auf
		Straßenbauer	Führt den eigentlichen Straßenbau aus
		Asphaltierer	Spezialisiert auf das Aufbringen von Asphalt
		Erd- und Tiefbauer	Zuständig für Erdarbeiten und den Tiefbau
		Vermesser	Vermisst die Baustelle während der Ausführungsphase
		Lärmschutzwände - Ausführer	Installiert Lärmschutzwände
		Materialproduzent	Liefert Materialien für den Straßenbau
		Entwässerung - Ausführer	Installiert und wartet Entwässerungssysteme

Tabelle 1: Identifizierte Stakeholder in den Ist-Prozessen im Straßenbau
(eigene Darstellung, ICoM)

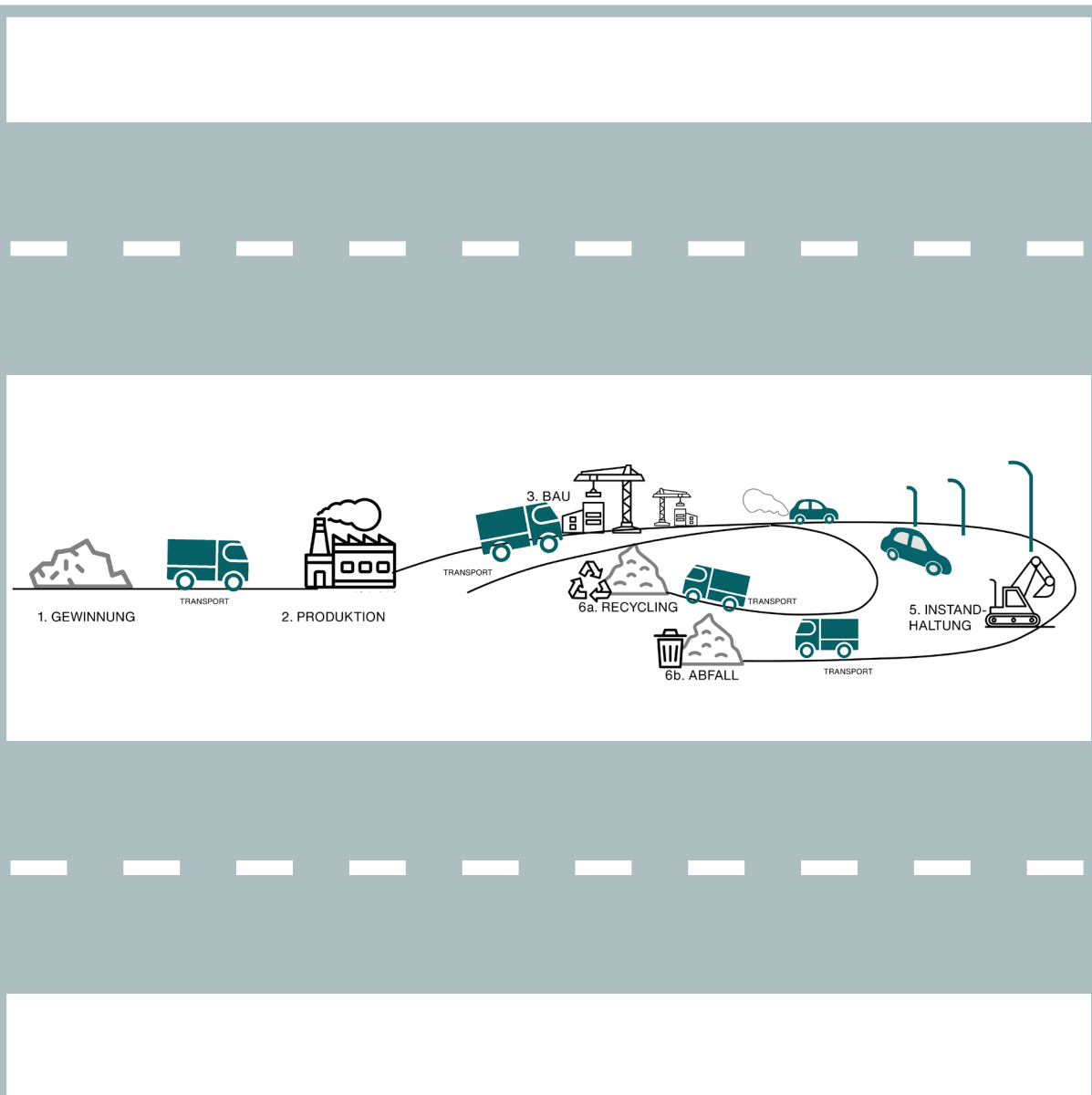
2.1.3 Standarddatenformate

Auf Grundlage des CDE-Endberichts aus dem Jahre 2023 (Klemt-Albert, 2023), lassen sich die nachfolgenden Datenformate als Standard in der Bearbeitung von Straßenbauprojekten unter Einbezug der BIM-Methode bezeichnen:

Das OKSTRA-Format standardisiert den Informationsaustausch im Straßenbau und ermöglicht einen verlustfreien Datenaustausch zwischen Softwareanwendungen (BAST, 2024). PDF-Dateien erleichtern den Dokumentenaustausch und sind vielseitig einsetzbar für Druckvorlagen, Webansicht, interaktive Dokumente und Präsentationen sowie für das Dokumentenmanagement in Organisationen (PDF Tools AG, o.D.). Das IFC-Format (Industry Foundation Classes) ist ein Datenaustauschstandard und dient dazu, digitale

Modelldaten von Gebäuden und anderen baulichen Anlagen zwischen verschiedenen Softwareanwendungen auszutauschen, die im Bereich Building Information Modeling (BIM) verwendet werden (Borrmann, 2021). CityGML ist ein offener Informationsstandard für 3D-Stadt- und Landschaftsobjekte, das Visualisierung, Analyse und Simulation von Stadtobjekten ermöglicht (Virtual City Systems, 2021). LandXML ist ein spezialisiertes XML-Dateiformat, das häufig in den Bereichen Landentwicklung und Verkehr eingesetzt wird und Vermessungsdaten wie Punkte, Oberflächen, Parzellen, Rohrnetzwerkdaten und Ausrichtungen enthält (Trimble Access, o.D.). Das DWG-Format ist ein CAD-Format für die digitale Speicherung von Bauplänen und Konstruktionen, das sowohl 2D- als auch 3D-CAD-Baupläne enthält und in Bereichen wie Maschinenbau, Architektur und Inneneinrichtungen verwendet wird (Clous, o.D.). CPIXML wird zum Austausch von Geometrien und Bauteilattributen verwendet und ist herstellerunabhängig (Strotmann, 2021). Das abschließend zu nennende iTwo-Format wird ebenfalls im Bereich des digitalen Planen, Bauen und Betreiben eingesetzt und ist das proprietäre Format der Software RIB iTwo, mit der die Kosten im Projektverlauf mit dem BIM-Modell verknüpft werden können (Schneider Electric, o.D.). Die im Rahmen von SusInfra durchgeführten Experteninterviews weisen nicht auf die Relevanz weiterer Standarddatenformate für den Straßenbau hin. Die zentralen Datenformate und Datenstandards sind in der folgenden Abbildung zusammengefasst.





3 Der SusInfra-Ansatz

Die aufgezeigten Prozesse im Straßenbau haben keine nachhaltigkeitsfördernden Strukturen hinsichtlich möglicher und effizienter Nachhaltigkeitsbewertungen in der Praxis gezeigt. Die Notwendigkeit nachhaltiger Prozesse im Straßenbau ist jedoch unumstritten. Aus diesem Grund, entwickelt SusInfra einen Soll-Prozess, den „SusInfra-Ansatz“, um die Ausschreibung und Vergabe im Straßenbau nachhaltiger zu gestalten. Dabei gilt es Zuständigkeiten und Beispielprozesse zu schaffen, mit denen neben BIM auch die Nachhaltigkeitsbewertung in bestehende Prozesse implementiert werden kann.

Der SusInfra-Ansatz sieht vor, dass in der Vergabephase des Projekts mit funktionaler Leistungsphase ausgeschrieben wird und der Auftraggeber dabei nachhaltige Zuschlagskriterien inkludiert und gewichtet. Dabei sollen Kriterien der sozialen, ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit Berücksichtigung finden. Anhand der Gewichtung der Kriterien und der Leistungsbeschreibung können die Bietenden folglich ihr Angebot erstellen. Bei der Angebotserstellung kann das in SusInfra zu entwickelnde Nachhaltigkeitsbewertungstool angewandt werden, in dem es verschiedene Varianten des Angebots auf die gewichteten Nachhaltigkeitskriterien hin überprüft. Dies geschieht anhand von BIM-Modellen, die in einem Common Data Environment (CDE) hochgeladen und ausgewertet werden. Hierbei werden nicht nur Varianten verglichen, sondern ebenfalls Verbesserungsvorschläge hinsichtlich der Materialwahl etc. genannt. Ebenso sollen unternehmenseigene Werte oder Qualitätsmerkmale, die für die Bauplanung und -ausführung von Relevanz sind, berücksichtigt werden. So kann das Angebot der Bietenden nachhaltiger gestaltet werden.

Werden die Angebote eingereicht, prüft der Auftraggeber diese ebenfalls mithilfe des Nachhaltigkeitsbewertungstools. So kann geprüft werden, wie die Angebote in den einzelnen Nachhaltigkeitskriterien abschneiden. Das Tool bietet daher nicht nur eine einfache Handhabbarkeit der Nachhaltigkeitsbewertung, sondern dient darüber hinaus als Entscheidungsunterstützung, wodurch die Identifikation des nachhaltigsten Angebots deutlich vereinfacht wird.

3.1 Die funktionale Ausschreibung als Voraussetzung

Im Allgemeinen gibt es bei Bauprojekten zwei grundlegenden Möglichkeiten zur Leistungsbeschreibung. Die Leistungsbeschreibung mit Leistungsverzeichnis und die Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm. Bei der Leistungsbeschreibung mit Leistungsverzeichnis wird die Bauaufgabe sowie die zu wählende Bauweise explizit mit Hilfe von Teilleistungen beschrieben (§ 7 b VOB/A). Die Leistungsbeschreibung mit Leistungsprogramm kann auch als funktionale Ausschreibung bezeichnet werden (§ 7 c VOB/A). Bei der funktionalen Ausschreibung wird der Lösungsweg zur Bauaufgabe offengelassen und dem Wettbewerb unterstellt. Mit den durchgeführten Experteninterviews konnte festgestellt werden, dass in Deutschland aktuell die Ausführungsplanung meist in ein Leistungsverzeichnis überführt wird, mit dem die Ausschreibung und Vergabe erfolgt. Folglich haben die bietenden Unternehmen nur wenig Einfluss auf die Nachhaltigkeit der Ausführungsweise und die Angebote der Ausführenden unterscheiden sich nur in einem geringen Ausmaß. Im Rahmen einer Ausschreibung mit Leistungsbeschreibung sind die Angebote vielfältiger und können den Wettbewerb im Hinblick auf die Stärkung der Nachhaltigkeit fördern. Auf der Seite des Auftraggebers werden Zuschlagskriterien definiert, die die Bewertung der Angebote ermöglichen. Trotz der steigenden Relevanz von Nachhaltigkeitskriterien sind diese bis heute gering in der Zuschlagserteilung gewichtet. Die Investitionskosten sind weiterhin das am stärksten gewichtete Kriterium. Um den Straßenbau nachhaltiger zu gestalten, benötigt es Anreize, nachhaltigere Bauvarianten zu bevorzugen. Weiterhin muss die Beurteilung der Nachhaltigkeit eines Angebots für Auftraggeber und Auftragnehmer einfacher gestaltet sein. Zudem muss sichergestellt werden, dass die Zuschlagskriterien einheitlich und nachvollziehbar sind. So wird eine Wettbewerbsverzerrung verhindert.

3.2 Chancen und Herausforderungen

Für die Bestimmung der Ist-Prozesse der Nachhaltigkeitsbewertung im Straßenbau wurden im Rahmen des Projekts SusInfra Experteninterviews durchgeführt, wobei die Befragten gleichmäßig auf Auftraggeber- und Auftragnehmer sowie Ausführungs- und Planungsseite verteilt waren. In diesem Zuge fand auch eine Untersuchung der Chancen und Herausforderungen bei der Implementierung einer modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung in bestehende Prozesse im Straßenbau statt. Die zentralen

Chancen und Herausforderungen der (BIM-)modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung im Straßenbau werden im Folgenden aufgezeigt.

3.2.1 Herausforderungen der modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung

Im Folgenden werden die zentralen Herausforderungen erläutert. Die Ergebnisse der Experteninterviews wurden zudem mit der Literatur abgeglichen und validiert. Die meistgenannten Herausforderungen sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Die Prozentzahlen sagen dabei aus, in wie vielen der Interviews die jeweilige Herausforderung mindestens einmal genannt wurde.

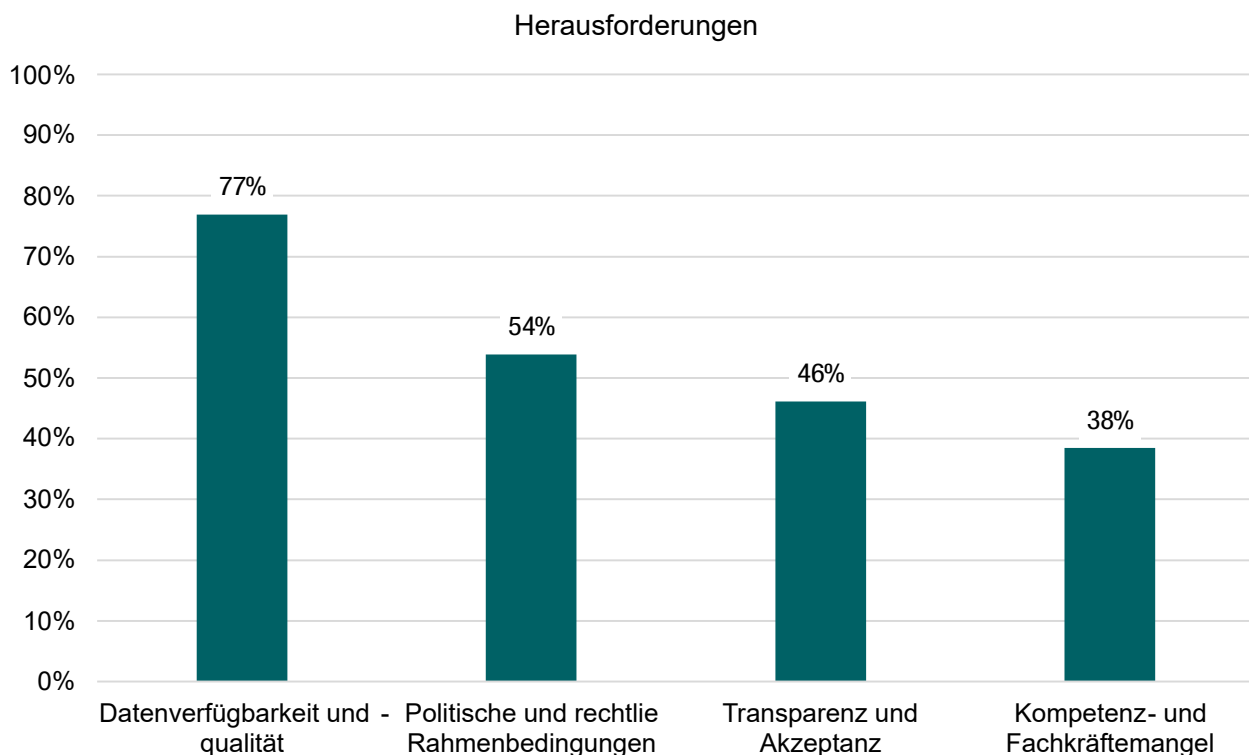


Abbildung 2 Herausforderungen der modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung

Die mit 77 % meistgenannte Herausforderung ist die Verfügbarkeit sowie Qualität der Daten, die der Bewertung zur Verfügung stehen. Hervorgehoben wurden insbesondere die Verfügbarkeit und Qualität der Umweltproduktdeklarationen (engl. Abk. EPD) der einzelnen Materialien. Im Straßenwesen besteht beispielsweise ein Mangel an EPDs für sämtliche Asphaltarten. Zudem soll die BIM-Methode zwar seit dem Stufenplan 2015 (BMDV, 2015) und dem Masterplan BIM Bundesfernstraße 2021 (BMDV, 2021)

ihren Weg in den Regelprozess finden, jedoch erfolgt die Implementierung langsamer als geplant. Das führt zu einer geringeren Verfügbarkeit der BIM-Modelle für die Nachhaltigkeitsbewertung.

Politische und rechtliche Rahmenbedingungen

Eine weitere Herausforderung stellen Rahmenbedingungen dar, die nicht im Wirkungsbereich des Forschungsprojekts SusInfra liegen. Geeignete politische und rechtliche Rahmenbedingungen müssen als Voraussetzung für die Implementierung der modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung geschaffen werden. Die politische Entscheidung, Nachhaltigkeit in Angeboten für den Straßenbau höher zu gewichten, ist essenziell für die Etablierung der Nachhaltigkeitsbewertung im Straßenwesen. Die hohe Gewichtung der Herstellkosten und der Bauzeit sowie die stetige Auswahl des wirtschaftlichen Angebots behindert die Anreizwirkung, möglichst nachhaltige Angebote einzureichen.

Weiterhin ist das Vergaberecht mit der vorherrschenden Einzelvergabe mit Leistungsverzeichnis nur im geringen Ausmaß für einen Ideenwettbewerb nachhaltiger Angebote für die Bauphase geeignet. Wie bereits zuvor erläutert ist die Ausschreibung mit funktionaler Leistungsbeschreibung eine der Grundvoraussetzungen für den SusInfra-Ansatz.

Transparenz und Akzeptanz

Nahezu die Hälfte der Interviewpartner (46 %) nennen Transparenz und Akzeptanz als eine zentrale Herausforderung der modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung. Besonders relevant ist hierbei die Transparenz der Ergebnisse des Nachhaltigkeitsbewertungstools und das Verständnis der Berechnung sowie deren Einflussfaktoren. Um die Bewertung als Entscheidungsunterstützung bei der Vergabe nutzen zu können, muss die Bewertung nachvollziehbar sein und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Angebote sichergestellt sein. Weiterhin ist die Akzeptanz und der Kompetenzaufbau der im Straßenwesen agierenden Stakeholder von hoher Relevanz. Erst bei höherem Verständnis von Nachhaltigkeit im Straßenwesen entsteht Akzeptanz, Nachhaltigkeitskriterien im Projekt zusätzlich zu berücksichtigen, statt diese als Mehraufwand zu betrachten. Des Weiteren spielt die Transparenz bei der Zuschlagserteilung von Angeboten eine wichtige juristische Rolle.

Kompetenz- und Fachkräftemangel

38 % der Interviewten nennen den hohen Aufwand und den Mangel an Fachwissen im Bereich BIM und Nachhaltigkeit als Herausforderung. Die Kapazitäten in Baufirmen und Ingenieurbüros sind oftmals nicht ausreichend, um neue Kompetenzen in den genannten Bereichen aufzubauen. Insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen haben wenig Kapazitäten, um Fachkräfte für Themen der Digitalisierung und Nachhaltigkeit einzustellen. Zudem darf die Auftraggeberseite nicht zu stark durch die Nachhaltigkeitsbewertung belastet werden, was durch einen hohen Anteil an Digitalisierung sichergestellt werden kann. Das Ziel ist daher mit dem Tool einen hohen Grad an Effizienz zu erzielen und es folglich so aufwandsarm wie möglich zu halten. Dabei ist die Ergebnisvalidität nicht zu beeinträchtigen.

3.2.2 Chancen der modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung

Den ermittelten Herausforderungen stehen jedoch auch einige Potentiale gegenüber, die durch eine modellbasierte Nachhaltigkeitsbewertung realisiert werden können. Die vier meistgenannten Chancen werden im Folgenden skizziert und sind in der folgenden Grafik veranschaulicht.

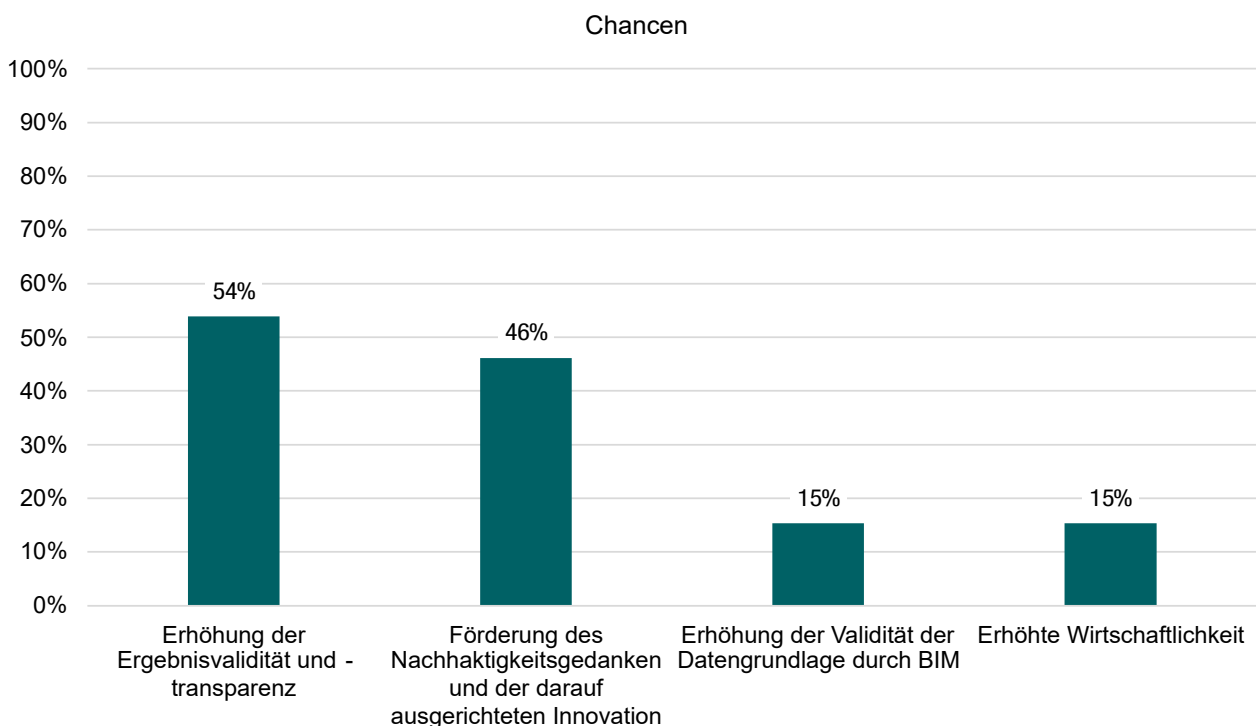


Abbildung 3 Chancen der modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung

Erhöhung der Ergebnisvalidität und -transparenz

Durch die verbesserte Datengrundlage in Form von BIM-Modellen und der gezielten Abfrage im Nachhaltigkeitsbewertungstool wird die Ergebnisvalidität gesteigert. Das Material und die Mengen bspw. können direkt aus dem Modell entnommen und als Bewertungsgrundlage genutzt werden. Zudem soll das Nachhaltigkeitsbewertungstool so konzipiert sein, dass das Ergebnis transparent und verständlich dargestellt wird. Durch die grafische Darstellung der Interdependenzen der Nachhaltigkeitssäulen und -kriterien soll das Verständnis für nachhaltige Straßenplanungen gesteigert werden.

Eine weitere Chance ist darin zu sehen, dass durch die erhöhte Ergebnisvalidität und -transparenz eine fundierte Entscheidungsunterstützung für den Vergabeprozess hervor-
gehen kann.

Förderung des Nachhaltigkeitsgedankens und der darauf ausgerichteten Innovation

Durch die modellbasierte Nachhaltigkeitsbewertung wird ein Anreiz geschaffen, Straßen hochwertig und langlebig zu bauen sowie innovative, nachhaltige Lösungen einzusetzen. In den Interviews haben nahezu die Hälfte (46 %) der Interviewten betont, dass der Nachhaltigkeitsgedanke sowie Innovationen, die damit im Zusammenhang stehen, durch die modellbasierte Nachhaltigkeitsbewertung gefördert werden. Das Potential liegt darin, dass auf diese Weise neuere Bauverfahren, wie der Kompaktasphalt, gefördert werden. Das Ziel des Tools ist es daher, technologieoffen zu sein und auch innovative Verfahren zu berücksichtigen. Schon bei der Erläuterung der vorherigen Chance ging hervor, dass Nachhaltigkeit im Straßenwesen durch eine übersichtliche, BIM-basierte Auswertung verständlicher gestaltet werden kann.

Erhöhung der Validität der Datengrundlage durch BIM

Die Erhöhung der Ergebnisvalidität begründet sich weitestgehend in einer weiteren Chance, der Steigerung der Qualität der Datengrundlage durch die Nutzung von BIM-Modellen. Diese ermöglicht genauere Ergebnisse und erhöht die Nachvollziehbarkeit. Durch die Verknüpfung der Datenquelle mit der Bewertungsmethode und schließlich der Visualisierung in der CDE, wird der Datenprozess transparenter.

Erhöhte Wirtschaftlichkeit

Eine Chance in der modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung im Vergabeprozess besteht darin, dass durch das beschriebene Vorgehen kürzere Instandhaltungszyklen erzielt und Ressourcen in der Bauphase eingespart werden können. Durch die Optimierung des Ausführungsprozesses auf Basis nachhaltiger Kriterien, kann auf Dauer, besonders im Hinblick auf steigende Rohstoffpreise, mehr Infrastruktur hochwertig erhalten und gebaut werden. Zudem wird die Betrachtung der Herstellkosten um die Betrachtung der Betriebskosten erweitert, was insbesondere durch die Länge der Betriebsphase langfristig wirtschaftlicher ist.

Der entwickelte SusInfra Ansatz birgt zwar viele Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt, bietet jedoch maßgebliche Chancen für die Durchführung von Nachhaltigkeitsbewertungen und die Erhöhung der Nachhaltigkeit im Straßenwesen.

3.3 Handlungsempfehlungen zur Überwindung der Herausforderungen

Um den Herausforderungen, die im vorherigen Kapitel identifiziert wurden, zu begegnen, lassen sich diverse Handlungsempfehlungen definieren. Dargestellt sind diese in der nachfolgenden Tabelle.

Herausforderung	Handlungsempfehlung
Datenverfügbarkeit und -qualität	Es gilt BIM weiterhin in Bauunternehmen zu etablieren, BIM-Standards im Straßenwesen aufzubauen und die Erstellung von EPDs voranzutreiben. Weiterhin ist die Zuständigkeit für die Lieferung der benötigten Informationen sowie die Vergütung dieser Leistung zu definieren.
Politische und rechtliche Rahmenbedingungen	Für die Etablierung der modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung in der Vergabephase muss die Ausschreibung mit funktionaler Leistungsbeschreibung ermöglicht und gefördert sowie die Erfüllung nachhaltiger Kriterien gefordert werden. Die Standardisierung der Nachhaltigkeitsbewertung von Straßen ermöglicht zudem eine höhere Vergleichbarkeit und Transparenz der Bewertung.
Transparenz und Akzeptanz	Das Nachhaltigkeitsbewertungstool ist auf Transparenz der Ergebnisse und Verständlichkeit der Interdependenzen der drei Säulen der Nachhaltigkeit auszurichten.
Kompetenz- und Fachkräftemangel	Die Schulung der Mitarbeiter in Bauunternehmen hinsichtlich BIM und Nachhaltigkeit ist eine zentrale Maßnahme. Gleichauf muss ein Nachhaltigkeitsbewertungstool einfach zu nutzen sein und gleichzeitig das Verständnis für Nachhaltigkeit fördern.

Tabelle 2 Handlungsempfehlungen zur Begegnung der Herausforderungen

Mit der Umsetzung der Handlungsempfehlungen wird der Weg für die Potentiale der modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung im Straßenwesen geebnet. Das kann schlussendlich zur Ressourceneinsparung, gestärkten Nachhaltigkeit in allen drei Säulen, insbesondere Stärkung der Berücksichtigung sozialer Aspekte und insgesamt zu einer verbesserten Infrastruktur führen.



4 Ausblick

Standardisierte Prozesse zur Nachhaltigkeitsbewertung im Straßenbau sind in der Praxis nicht etabliert. Die modellbasierte Nachhaltigkeitsbewertung mit transparenten Entscheidungsgrundlagen, wie einer eindeutigen und gültigen Datengrundlage sowie definierte Bewertungsvorgänge für bspw. alle zu untersuchenden Nachhaltigkeitskriterien, ist noch nicht standardisiert. Die Gestaltung eines Soll-Prozesses zur modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung im Straßenbau geht mit vielen Chancen einher. Einerseits steht das verfügbar und verständlich machen einer Nachhaltigkeitsbewertung für alle Stakeholder aus. Andererseits können durch die (teil-) automatisierte Nachhaltigkeitsbewertung Einsparpotentiale in personellen, materiellen und zeitlichen Ressourcen im Vergleich zum Status quo identifiziert werden.

Zu diesem Zweck gilt es, die gelisteten Herausforderungen zu überwinden. Darunter fällt unter anderem die Notwendigkeit der Bereitstellung von standardisierten Nachhaltigkeitsinformationen und -bewertungssystemen. Zudem muss über die Ziele und die Prozesskette einer modellbasierten Nachhaltigkeitsbewertung aufgeklärt werden, sodass die Einsparpotentiale erreicht werden können.

Das Projekt SusInfra legt dazu den Grundstein für ein modellbasiertes Nachhaltigkeitsbewertungstool im Straßenbau. Mit einem neuen Indikatorsatz für den Straßenbau und Automation durch intelligente Algorithmik, wird die Effizienz im Straßenbau vorangetrieben.

Wenn Sie Anmerkungen zum SusInfra-Ansatz und unserem Vorgehen haben oder interessiert sind, am Projekt mitzuwirken kontaktieren Sie uns gerne unter kaus@icom.rwth-aachen.de!

Literaturverzeichnis

(BASt, 2024) BASt (2024) Objektkatalog für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA®) [online]. <https://www.bast.de/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-okstra.html#:~:text=OKSTRA%20ist%20vom%20Bundesministerium%20f%C3%BCr,erm%C3%B6glichen%20so%20einen%20verlustfreien%20Datenaustausch> [Zugriff am 18.04.2024].

(Bim.Hamburg, 2023) Bim.Hamburg (2023) Objektkatalog Verkehrsanlage-Strasse. [online]. <https://bim.hamburg.de/resource/blob/612234/24376eb0730774cc34e88f6cbe93ea70/d-07-verkehrsanlage-strassen-data.pdf> [Zugriff am 30.04.2024].

(BMDV, 2015) BMDV (2015) Stufenplan Digitales Planen und Bauen - Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken [online]. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile [Zugriff am 24. Juli 2024].

(BMDV, 2021) BMDV (2021) Masterplan BIM Bundesfernstraßen - Digitalisierung des Planens, Bauens, Erhaltens und Betreibens im Bundesfernstraßenbau mit der Methode Building Information Modeling (BIM) [online]. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/StB/bim-rd-masterplan-bundesfernstrassen.pdf?__blob=publicationFile [Zugriff am 22. April 2024].

(BMDV, 2023) BMDV (2023) Modellbasierte Nachhaltigkeitsbewertung. Praxisdokument. Berlin [online]. https://www.bim-bundesfernstrassen.de/fileadmin/user_upload/Praxisdokumente/bim-pd-nachhaltigkeitsbewertung.pdf [Zugriff am 30.04.2024].

(Bormann, 2021) Bormann, A.; Beetz, J.; Koch, C.; Liebich, T.; Muhic, S. (2021). Industry Foundation Classes – Ein herstellerunabhängiges Datenmodell für den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks. In: A. Bormann et al. (Hrsg.) Building Information Modeling, S. 95-146. https://doi.org/10.1007/978-3-658-33361-4_6#DOI

(Clous, o.D.) Clous(o.D.)DWG-Datei–AlleszumDWG-Dateiformat[online]. <https://lexikon.clous.io/dwg-datei-format-und-aufbau#:~:text=Typische%20Anwendung%20von%20DWG%2DDateien,-Ebenso%20wie%20andere&text=Das%20Format%20unterst%C3%BCtzt%20die%20Anordnung,Renderings%20der%20geplanten%20Objekte%20anfertigen> [Zugriff am 18.04.2024].

(Klemt-Albert, 2023) Klemt-Albert, K.; et. al. (2023) FE-Vorhaben: Gemeinsame Datenbasis im deutschen Straßenbau (Bundes-CDE). FE-NR. 03.0621/2021/BRB. Endbericht.

(PDF Tools AG, o.D.) PDF Tools AG (o.D.) PDF Grundlagen - Einführung in das Format PDF [online]. <https://www.pdf-tools.com/public/downloads/whitepapers/Whitepaper-PDF-Grundlagen-DE.pdf> [Zugriff am 18.04.2024].

(Schneider Electric, o.D.) Schneider Electric (o.D.) iTWO [online]. <https://www.se.com/de/de/product-range/48127370-itwo/#overview> [Zugriff am 18.04.2024].

(Strotmann, 2021) Strotmann, H. (2021) IFC- bzw. CPI-Daten laden. In: AVA – modellbasiert mit iTWO - Unter Verwendung verschiedener Revitmodelle, S. 27-28. https://doi.org/10.1007/978-3-658-35302-5_5.

(Trimble Access, o.D.) Trimble Access (o.D.) LandXML files [online]. <https://help.trimblegeospatial.com/TrimbleAccess/latest/en/Map-files-LandXML.htm> [Zugriff am 18.04.2024].

(UNEP, 2020) United Nations Environmental Programme (UNEP) (2020) Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations.

(UNEP, 2021) United Nations Environmental Programme (UNEP) (2021) Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA).

(United Nations 1997) United Nations (1997) Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen [online]. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpger.pdf> [Zugriff am: 20. Jan. 2024].

(United Nations, 1992) United Nations (1992) Agenda 21: Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung [online]. https://www.un.org/depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf [Zugriff am: 20. Jan. 2024].

(United Nations, 2015) United Nations (2015) Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015: Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development [online]. https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf [Zugriff am: 20. Jan. 2024].

(United Nations, 1987) United Nations (1987) UN Documents Gathering a body of global agreements: Our Common Future, Chapter 2: Towards Sustainable Development.

(United Nations Environment Programme, 2020) United Nations Environment Programme (2020) Global Status Report for buildings and construction [online]. <https://globalabc.org/news/launched-2020-global-status-report-buildings-and-construction> [Zugriff am: 30. Jul. 2024].

(Virtual City Systems, 2021) Virtual City Systems (2021) Erkunde CityGML [online]. <https://vc.systems/erkunden/fachartikel/citygml/> [Zugriff am 18.04.2024].

Impressum

Michelle Kaus, M.Sc. RWTH - kaus@icom.rwth-aachen.de

Lehrstuhl und Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen
RWTH Aachen University
Jülicher Straße 209d
52070 Aachen

Leonie Große-Wilde, M.Sc. RWTH

Lehrstuhl und Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen
RWTH Aachen University
Jülicher Straße 209d
52070 Aachen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Katharina Klemt-Albert

Lehrstuhl und Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen
RWTH Aachen University
Jülicher Straße 209d
52070 Aachen

Bruna Pereira de Souza, M.Sc., M.Sc.

Institut für Nachhaltigkeit im Bauwesen
RWTH Aachen University
Mies-van-der-Rohe-Str.1
52074 Aachen

Dr.-Ing Roland Meyer

Institut für Nachhaltigkeit im Bauwesen
RWTH Aachen University
Mies-van-der-Rohe-Str.1
52074 Aachen

Univ.-Prof. Dr. Marzia Traverso

Institut für Nachhaltigkeit im Bauwesen
RWTH Aachen University
Mies-van-der-Rohe-Str.1
52074 Aachen

Paul Leopold, M.Sc. RWTH

Lehrstuhl und Institut für Straßenwesen

RWTH Aachen University

Mies-van-der-Rohe-Str.1

52074 Aachen

Dr.-Ing. Quentin Adam

Lehrstuhl und Institut für Straßenwesen

RWTH Aachen University

Mies-van-der-Rohe-Str.1

52074 Aachen