

Baubetriebswirtschaftslehre  
und Infrastrukturmanagement  
Dieter Jacob *Hrsg.*

RESEARCH

Clemens Müller

# Lebenszykluskosten von Straßen

Umsetzungsformen, Modulare  
Kalkulation, Optimierungspotentiale



Springer Gabler

---

# **Baubetriebswirtschaftslehre und Infrastrukturmanagement**

**Reihe herausgegeben von**  
Dieter Jacob, Freiberg, Deutschland

Für internationales Zusammenwachsen und Wohlstand spielt gutes Infrastrukturmanagement eine zentrale Rolle. Erkenntnisse der baubetriebswirtschaftlichen Forschung können hierzu wichtige Beiträge leisten, die diese Schriftenreihe einem breiteren Publikum zugänglich machen will.

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/12477>

---

Clemens Müller

# Lebenszykluskosten von Straßen

Umsetzungsformen, Modulare  
Kalkulation, Optimierungspotentiale

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr.-Ing. Dieter Jacob

 Springer Gabler

Clemens Müller  
Eisenhüttenstadt, Deutschland

Zugleich Dissertation der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, 2019

Baubetriebswirtschaftslehre und Infrastrukturmanagement  
ISBN 978-3-658-29461-8      ISBN 978-3-658-29462-5 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-29462-5>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Gabler ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

## Geleitwort

Alles dreht sich im Bundesverkehrsministerium derzeit gedanklich um die Bundesautobahnen, die aber nur insgesamt knapp 13.000 km Länge aufweisen. Kreisstraßen (92 tkm), Landesstraßen (86 tkm) und Bundesstraßen (40 tkm) addieren sich dagegen zusammen zu fast 120.000 km. Diese Straßen tragen einen Großteil des regionalen Verkehrs und müssen bei temporären Sperrungen der Autobahn auch den ganzen überregionalen Schwerlastverkehr aufnehmen. Schon allein deshalb müsste der Bund sich eigentlich mehr um sie kümmern. Auch die neue IGA (Infrastruktur-Gesellschaft-Autobahn) fokussiert sich wieder auf die Autobahnen. Entsprechend fehlt es zu der Thematik des sekundären Netzes bisher an Forschungsmitteln des Bundes. Hier setzt die Arbeit von Herrn Clemens Müller an, die ohne öffentliche Forschungsmittel auskommen musste. Sein Erkenntnisziel ist es, das Instandhaltungsmanagement auf dem sekundären Netz zu verbessern.

Die englischsprachige Literatur wurde von Herrn Müller umfassend ausgewertet. An substantzieller deutschsprachiger Literatur mangelt es derzeit noch.

Seine Befragung der Landesstraßenverwaltung (11 von 17 Landesstraßenbetriebe) und seine Befragung wichtiger Anbieter (die sieben größten) bringen daher wertvolle neue Erkenntnisse.

Die Entwicklung eines modularen Kalkulationsschemas durch Herrn Müller ist gar nicht hoch genug einzuschätzen, damit mittelständische Anbieter die Scheu vor solchen lebenszyklusorientierten Verträgen verlieren. Momentan arbeiten die KMU-Verbände (z.B. der Zentralverband des Dt. Baugewerbes) noch stark dagegen gemäß dem Motto: „Was der Bauer nicht kennt, das frisst er nicht“. Gleichwohl wird jetzt durch die DEGES das ÖPP-Projekt B 247 zwischen Mühlhausen und Bad Langensalza vorbereitet (Planung, Bau, Erhaltung und Leistungen des Betriebes eines 24,4 km langen Abschnittes), die Forschungsergebnisse kommen also genau zur rechten Zeit.

Die Dissertation von Herrn Müller könnte nach der Publikation dazu führen, dass bei wichtigen mittelständischen Playern die Scheu vor solchen Vertragsformen abnimmt. Auch weite Teile der öffentlichen Bauverwaltung werden merken, dass hier nur mit Wasser gekocht wird und es kein Hexenwerk ist. Insofern könnte die kompakte Arbeit von Herrn Müller ein Stück Leitfadenscharakter gewinnen.

Es ist der Publikation daher ein weiterer Verbreitungskreis, gerade bei der mittelständischen Bauwirtschaft, in der öffentlichen Verwaltung, in der Politik und in der akademischen Ausbildung zu wünschen.

Prof. Dr. Dieter Jacob

## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre insbesondere Baubetriebslehre an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Dieter Jacob, dessen Betreuung die Anfertigung dieser Arbeit ermöglichte. Weiterhin danke ich meinem Zweitbetreuer Prof. Dr. Michael Höck für die Betreuung und die interessanten Gespräche und Kritik im Rahmen der Bearbeitung dieser Arbeit.

Für die Unterstützung bei der Arbeit sowie den abgeschlossenen Buchprojekten danke ich Herrn Martin Oehmichen für den intensiven fachlichen Austausch sowie die moralische Unterstützung bei der Anfertigung des Manuskripts. Ich danke auch meinem ehemaligen Kollegen und guten Freund Jacob Kleinow, der mir bei akademischen, internationalen und persönlichen Belangen immer beiseite stand. Weiterhin danke ich den Experten aus der Praxis, bei denen ich mit diesem Vorhaben hauptsächlich offene Türen eintrat. Für die anregenden Gespräche und die Hilfe bei der Korrektur des Manuskriptes danke ich Herrn Dr. Reinhardt Stuhr sowie meinem guten Freund Max Stang. Zu guter Letzt danke ich meiner Familie, die mich stets bei meinen Vorhaben unterstützte.

Clemens Müller

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	XIII
Tabellenverzeichnis .....	XV
Abkürzungsverzeichnis.....	XVII
1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung und Relevanz .....	1
1.2 Stand der Forschung .....	3
1.3 Zielsetzung.....	7
1.4 Abgrenzung.....	8
1.5 Gang der Untersuchung .....	9
2 Technische und betriebswirtschaftliche Grundlagen.....	11
2.1 Straßeninfrastruktur .....	11
2.1.1 Straßenkörper .....	12
2.1.2 Querschnittsgestaltung.....	14
2.1.3 Schadensmechanismus.....	15
2.1.4 Straßenklassen.....	16
2.1.5 Straßenkategorien .....	18
2.2 Straßenerhaltung .....	19
2.2.1 Zustandserfassung und -bewertung.....	21
2.2.2 Verhaltensfunktionen.....	26
2.2.3 Nutzungsausfall.....	29
2.2.4 Konventionelle Straßenerhaltung.....	31
2.2.5 Systematische Straßenerhaltung .....	31
2.2.6 Wahl der Erhaltungsstrategie.....	32
2.3 Vertragsgestaltung .....	33
2.3.1 Input- und Outputorientierung .....	34
2.3.2 Outputorientierte Vertragsformen.....	37
2.3.3 Finanzierungsmodelle .....	41
2.4 Kalkulation im Straßenbau .....	43
2.5 Modulare Kalkulation .....	44
2.6 Lebenszykluskostenkalkulation .....	45

---

2.6.1	Lebenszyklusansatz.....	45
2.6.2	Kosten .....	48
2.6.3	Lebenszykluskosten .....	49
2.6.4	Optimierung der Lebenszykluskosten.....	51
2.6.5	Aufbau einer Lebenszykluskostenkalkulation .....	54
2.6.6	Kapitalwertmethode.....	56
2.7	Berücksichtigung von Risiken .....	58
2.8	Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen.....	60
2.9	Vergütungsmechanismus .....	61
3	Hindernisse bei der Umsetzung von lebenszyklusorientierten Straßenbauprojekten	63
3.1	Vorgehensweise bei der Umfrage.....	63
3.2	Vorgehensweise bei den Experteninterviews .....	64
3.3	Derzeitige Verfahrensweise bei öffentlichen Ausschreibungen .....	65
3.4	Hürden der Implementierung aus Auftraggebersicht.....	67
3.4.1	Institutionelle Hindernisse .....	67
3.4.2	Marktwirtschaftliche Hindernisse.....	70
3.5	Anwendbarkeit aus Auftragnehmersicht.....	73
3.5.1	Anwendbarkeit auf Bundes-, Landes- und Kreisstraßen .....	73
3.5.2	Effizienzvorteile und allgemeine Vorteilhaftigkeit .....	75
3.5.3	Bedarf zur weiteren Umsetzung.....	78
3.6	Lösungsansätze .....	79
4	Lebenszyklusorientierte Angebotskalkulation aus Sicht des Auftragnehmers.....	83
4.1	Eingangsdaten .....	83
4.1.1	Differenzierung nach Projekttyp.....	83
4.1.2	Strukturierung und Qualität der Vergabeunterlagen.....	84
4.2	Aufbau der Lebenszykluskostenkalkulation .....	86
4.2.1	Umsetzung .....	86
4.2.2	Bestandteile.....	87
4.3	Ermittlung der Finanzierungskosten.....	90
4.4	Erfassung und Quantifizierung der Projektrisiken.....	93
4.5	Optimierung der Lebenszykluskosten.....	94

---

4.5.1	Optimierungspotentiale.....	95
4.5.2	Maßnahmen zur Optimierung.....	95
5	Modell zur Lebenszykluskostenkalkulation aus Auftragnehmersicht .....	101
5.1	Aufbau.....	101
5.2	Realwirtschaftliche Komponenten.....	102
5.2.1	Planungskosten und Kosten der Angebotserstellung.....	103
5.2.2	Baukosten.....	104
5.2.3	Kosten der betrieblichen Erhaltungsmaßnahmen .....	108
5.2.4	Kosten der baulichen Erhaltungsmaßnahmen.....	108
5.2.5	Verwaltungs- und sonstige Geschäftskosten .....	111
5.3	Finanzwirtschaftliche Komponenten .....	112
5.3.1	Finanzierungskosten .....	112
5.3.2	Opportunitätskosten .....	115
5.3.3	Inflationseffekte .....	115
5.4	Bauwerkskomponenten.....	116
5.4.1	Lebensdauerbestimmung .....	118
5.4.2	Deckschicht und Binderschicht.....	120
5.4.3	Tragschicht.....	122
5.4.4	Entwässerungseinrichtungen.....	122
5.4.5	Unterbau.....	123
5.4.6	Straßenausstattung .....	123
5.4.7	Konstruktiver Ingenieurbau .....	124
5.4.8	Markierungen .....	124
5.4.9	Preissteigerungen .....	125
5.5	Risikokomponenten .....	128
5.5.1	Risikomanagementprozesses .....	128
5.5.2	Risikoidentifikation und Risikoanalyse .....	131
5.5.3	Risikobewältigung und Berechnung der Risikokosten .....	134
5.5.4	Risikocontrolling.....	137
5.6	Grenzen des Kalkulationsansatzes.....	138
6	Zusammenfassung und Ausblick .....	139

---

6.1	Zusammenfassung.....	139
6.2	Schlussfolgerung.....	140
6.3	Ausblick.....	142
	Literaturverzeichnis.....	145
	Anhang.....	161
	Anhang 1: Umgesetzte Projekte.....	161
	Anhang 2: Interview DEGES.....	162
	Anhang 3: Umfrage Landesstraßenbetriebe.....	165
	Anhang 4: Protokoll Interview 1.....	181
	Anhang 5: Protokoll Interview 2.....	186
	Anhang 6: Protokoll Interview 3.....	193
	Anhang 7: Protokoll Interview 4.....	198
	Anhang 8: Protokoll Interview 5.....	205
	Anhang 9: Protokoll Interview 6.....	210
	Anhang 10: E-Mail-Antwort 1.....	217
	Anhang 11: Risikokategorien.....	220

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Gang der Untersuchung. (Eigene Darstellung).....	10
Abbildung 2-1: Damm- oder Einschnittsquerschnitt außerhalb geschlossener Ortslage und Ortslagen mit wasserdurchlässigen Randbereichen.....	12
Abbildung 2-2: Straßelängen in der Bundesrepublik Deutschland 2013 in km.....	16
Abbildung 2-3: Ermittlung der Zustandswerte für Asphaltbefestigungen.....	24
Abbildung 2-4: Generalisierter Verlauf der Normierungsfunktion. ....	25
Abbildung 2-5: Idealtypische Standardfunktionen für allgemeine Unebenheiten.....	28
Abbildung 2-6: Beispielhafte Ausfallfunktion.....	30
Abbildung 2-7: Abgrenzung von Input- und Outputorientierung.....	35
Abbildung 2-8: Schematischer Aufbau von PPP-Straßenbauprojekten.....	38
Abbildung 2-9: Schematische Darstellung einer Projektfinanzierung.....	42
Abbildung 2-10: Schematische Darstellung einer Forfaitierung mit Einredeverzicht.....	43
Abbildung 2-11: Lebenszyklus einer Immobilie.....	46
Abbildung 2-12: Idealisierte Abgrenzung der Lebenszyklusphasen von Straßen.....	47
Abbildung 2-13: Unterscheidungen des Kostenbegriffs.....	48
Abbildung 2-14: Grad der Beeinflussungsmöglichkeiten von Planungsergebnissen.....	53
Abbildung 2-15: Möglicher Ablauf der Lebenszykluskostenanalyse.....	54
Abbildung 2-16: Rückkopplungseffekte bei der Lebenszykluskalkulation.....	55
Abbildung 2-18: Gegenüberstellung der Kosten für konventionelle Vergabe und PPP...61	
Abbildung 3-1: Hindernisse für die Umsetzbarkeit aus Auftragnehmersicht.....	75
Abbildung 4-1: Unterscheidung zwischen Greenfield und Brownfield Projekten.....	84
Abbildung 4-2: Beispielhafte Darstellung des Finanzierungsbedarfs.....	92
Abbildung 5-1: Berechnungsalgorithmus zur Lebenszykluskostenermittlung.....	102
Abbildung 5-2: Unterschiedliche Interpretation des Straßenzustands bei linearen und progressiven Zustandsfunktionen am Ende der Vertragslaufzeit.....	109
Abbildung 5-3: Exemplarische Preisstaffelung der Position „Asphalt fräsen“.....	117
Abbildung 5-4: Beispielhafte Erneuerungszyklen der Deckschicht.....	121
Abbildung 5-5: Verlauf des Baupreisindex für Straßenbau (Bezugsjahr 2010).....	126
Abbildung 5-6: Darstellung der Entwicklung der Kostenarten sowie des KKA (Basis 2015 = 100).....	128

---

Abbildung 5-7: Risikomanagementprozess bei lebenszyklusorientierten Straßenbauprojekten .....	130
Abbildung 5-8: Bottom-up und Top-down approach für die Risikoidentifikation .....	132
Abbildung 5-9: Exemplarische Sensitivitätsanalyse für die Veränderung der Parameter Lebensdauer und Kosten der Deckschicht .....	133
Abbildung 5-10: Risikoportfolio der Punktrisiken .....	137

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Straßenbaulasträger .....	17
Tabelle 2-2:	Differenzierung nach Verbindungsfunktion .....	18
Tabelle 2-3:	Kategoriengruppen nach Lage zur Bebauung .....	19
Tabelle 2-4:	Verknüpfungsmatrix zur Ableitung der Verkehrswegekategorien .....	19
Tabelle 2-5:	Mögliche bauliche Maßnahmen an Straßen .....	20
Tabelle 2-6:	Abgrenzung des Begriff der Baulichen Erhaltung .....	21
Tabelle 2-7:	Merkmalsgruppen von Asphaltbefestigungen .....	22
Tabelle 2-8:	Standardannahmen zum Verlauf von Verhaltensfunktionen .....	27
Tabelle 3-1:	Betriebliche Funktionen der Interviewpartner .....	64
Tabelle 3-2:	Zusammenfassung der Hindernisse und Lösungsansätze für die Etablierung von Funktionsbauverträgen bei Bundes-, Kreis- und Landesstraßen .....	82
Tabelle 4-1:	Eingangsdaten für die Angebotserstellung .....	84
Tabelle 4-2:	Zusammenfassung der Kalkulationsbestandteile .....	87
Tabelle 4-3:	Teilbereiche der Due-Diligence .....	91
Tabelle 4-4:	Optimierungsmöglichkeiten bei der Lebenszykluskostenkalkulation ..	96
Tabelle 5-1:	Anhaltswerte zur Abschätzung des Zeitraums zwischen dem Neubau bzw. der letzten Erneuerung und dem Eingreifzeitpunkt von asphaltierten Außerortsstraßen .....	120
Tabelle 5-2:	Datengrundlage für die Risikoidentifikation .....	131
Tabelle 5-3:	Methoden zur Quantifizierung der Projektrisiken .....	135
Tabelle 5-4:	Risikobewertung der Punktrisiken für den Leistungsbereich Bau .....	135
Tabelle 5-5:	Erweiterte Risikobewertung der Punktrisiken für den Leistungsbereich Bau .....	136

## Abkürzungsverzeichnis

ABBV	Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung
AC	Asphaltconcrete - Asphaltbeton
AG	Auftraggeber
AGK	Allgemeine Geschäftskosten
AKVS	Anweisung zur Kostenermittlung und zur Veranschlagung von Straßenbaumaßnahmen
AN	Auftragnehmer
BAB	Bundesautobahn
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
Bk	Belastungsklasse
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
DD	due diligence
et al.	et aliae (und Andere)
EKL	Entwurfsklasse
EURIBOR	Euro InterBank Offered Rate
EW	Eintrittswahrscheinlichkeit
FIDIC	Fédération Internationale des Ingénieurs-Conseils
Fz	Fahrzeug
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
Kfz	Kraftfahrzeug
KK	Kombinierter Kostenindex
KKA	Kombinierter Kostenindex für Asphaltstraßen
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
lfm	laufender Meter
LCC	life-cycle costs
LCCA	life-cycle cost analysis
LKW	Lastkraftwagen
LZK	Lebenszykluskosten
p. A.	per annum (pro Jahr)
PBC	Performance-based contract
PKW	Personenkraftwagen
PMS	Pavement Management System
PLC	Project Life Cycle
PPP	Public-Private-Partnership
PSC	Public-Sector-Comparator
RIN	Richtlinien für integrierte Netzgestaltung
T	Tragweite
Vgl.	vergleiche
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
WuG	Wagnis und Gewinn
ZEB	Zustandserfassung und -bewertung



# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung und Relevanz

„Die eine Generation baut die Straße, auf der die nächste fährt.“

Chinesisches Sprichwort

Die Bedeutung der Straßeninfrastruktur für die Aufrechterhaltung des Wirtschaftsstandorts Deutschland wurde in der Vergangenheit hervorgehoben. Leistungsfähige und vor allem zuverlässige Verkehrswege stellen eine Grundvoraussetzung für die Funktionsfähigkeit und das Wachstum<sup>1</sup> einer Volkswirtschaft dar. Sie sind Voraussetzung für die Mobilität und damit essenziell für alle Bereiche der Gesellschaft. Durch verstärkte Investitionen können der gesamtwirtschaftliche Nutzen und das langfristige und kurzfristige Wirtschaftswachstum gesteigert werden.<sup>2</sup>

Die Erhaltung von Straßen ist von hoher Bedeutung. Laut der Bundesregierung erfordert dieses Ziel „eine Erhaltungspolitik, die auf einen hohen Gebrauchs- und Sicherheitswert der Verkehrsinfrastruktur ohne Substanzverzehr zu Lasten künftiger Generationen ausgerichtet ist.“<sup>3</sup> Zur Erfüllung dieses Ziels stehen seit Anfang der 90er Jahre nicht mehr genügend finanzielle Mittel zur Verfügung. Dieser Investitionsstau ist sowohl auf die Reduktion der Staatsschulden zur Erfüllung der Maastricht-Kriterien als auch auf die hohe finanzielle Unterstützung der neuen Bundesländer zurückzuführen. Zusätzlich dazu ist ein enormer Kapitalbedarf für die Erhaltung der existierenden Straßen notwendig, der progressiv ansteigt.<sup>4</sup> Traditionell wird beim Straßenbau der Fokus auf die initialen Baukosten gelegt.<sup>5</sup> Auch die meisten Förderprogramme zielen auf den Neu- und Ausbau der Straßeninfrastruktur ab.<sup>6</sup> Gerade im kommunalen Bereich haben sich die Investitionen seit der Jahrtausendwende schwach entwickelt<sup>7</sup> und sind nicht ausreichend dimensioniert, um dem Verschleiß der Straßeninfrastruktur entgegenzuwirken. Hinzu kommen die ständig wachsenden Verkehrszahlen beim Personen- und Güterverkehr.<sup>8</sup> In Politik und Wissenschaft wurde in den letzten Jahren eine Diskussion entfacht, wie diese Investitionslücke in Zukunft zu schließen ist.

---

<sup>1</sup> Vgl. Barabas et al. (2010), S. 91.

<sup>2</sup> Vgl. Munnell (1992), S. 3ff. und *Der wissenschaftliche Beirat beim Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung* (2013), S. 153.

<sup>3</sup> *Deutscher Bundestag* (2016), S. 2.

<sup>4</sup> Vgl. Link (1998), S. 551.

<sup>5</sup> Vgl. Arditi/Messiha (1996), S. 5.

<sup>6</sup> *Kommission „Zukunft der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung“* (2012), S. 117.

<sup>7</sup> *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie* (2015), S. 14.

<sup>8</sup> Vgl. Schubert et al. (2014), S. 310 u. 368.

Hierzu stellten 2012 die *Kommission „Zukunft der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung“*<sup>9</sup> und 2015 die *Expertenkommission „Stärkung der Investitionen in Deutschland“*<sup>10</sup> Handlungsoptionen vor.

Eine langfristig staatsausgabenschonende Möglichkeit stellt die Einbeziehung von privaten Unternehmen in die Ausführung und Finanzierung von Straßeninfrastruktur dar. Diese Einbeziehung kann mithilfe von Vertragsmodellen wie Public-Private-Partnership (PPP) oder Funktionsbauverträgen erfolgen, welche private Partner über einen Zeitraum von 20 bis 30 Jahren hinzuzieht. Durch eine lange Vertragsdauer und eine Outputorientierung der Leistungsbeschreibungen kann ein effizientes Erhaltungsmanagement bereitgestellt werden, welches über den gesamten Lebenszyklus grundlegende Erneuerungsmaßnahmen vorsieht.

Durch diese Outputorientierung und die Lebenszyklusbetrachtung nehmen die initialen Baukosten einen geringeren Anteil des Auftragsvolumens ein. Dadurch wird dem alleinigen Wertungskriterium „Preis“<sup>11</sup> in öffentlichen Ausschreibungen ein zwingendes Kriterium der „Qualität“ hinzugefügt und die Zusammenarbeit zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer forciert. Damit wird erreicht, dass der Auftragnehmer auch nach der regulären Gewährleistungsdauer von fünf oder vier Jahren (nach § 634a BGB beziehungsweise § 13 Abs. 3, Nr. 1 VOB/B) für die Erhaltung der Straße verantwortlich ist und somit auch für eventuelle Schäden durch unzureichende Qualität aufkommen muss. Dies verhindert, dass Straßen von vornherein auf eine kurze Lebensdauer ausgelegt werden, weil in der Bauphase gespart wird. Dennoch werden die besagten Vertragsmodelle öffentlich kritisiert. Dabei werden insbesondere hohe Transaktionskosten und erhöhte Risikokosten thematisiert.<sup>12</sup> Dennoch ist eine Kenntnis über die Lebenszykluskosten von Straßen für die öffentliche Hand von Bedeutung, da durch die Übernahme der Inhalte der europäischen Vergaberichtlinie 2014/24/EU in das deutsche Vergaberecht strategische und lebenszykluskostenorientierte Kriterien in Zukunft bei der Vergabe verstärkt Anwendung finden werden.<sup>13</sup>

Nicht zuletzt wegen des schlechten Zustands der Straßeninfrastruktur muss diese Problematik diskutiert werden. Eine besondere Rolle bei den besagten Vertragsmodellen spielen die sogenannten *Lebenszykluskosten* (LZK).<sup>14</sup> Durch die sukzessive Vergabe von Autobahnabschnitten an private Partner wurde die Ermittlung der Lebenszykluskosten ein integraler Bestandteil der Kalkulation von Autobahnprojekten. In Deutschland wurde dieses Konzept vereinzelt für regionale Projekte angewendet.<sup>15</sup> Allerdings stehen dieser Vorgehensweise die Vorgaben der öffentlichen Hand entgegen. Ein Vorziehen von Haushaltsausgaben zur Erhöhung von Investitionskosten zur Verringerung der Folgekosten lassen

---

<sup>9</sup> Siehe *Kommission „Zukunft der Verkehrsinfrastrukturfinanzierung“* (2012).

<sup>10</sup> *Expertenkommission „Stärkung von Investitionen in Deutschland“* (2015).

<sup>11</sup> Vgl. *Betriebswirtschaftliches Institut der Bauindustrie* (2013), S. 125 ff.

<sup>12</sup> Vgl. *Greilinger* (2012), S. 15 ff.

<sup>13</sup> Vgl. *Europäisches Parlament und Rat* (2014), S. 82 f und *Niewerth/Vogl/Thewes* (2017), S. 398 f.

<sup>14</sup> Vgl. *March* (2017), S. 100 f.

<sup>15</sup> Vgl. Anhang 8.2.

die öffentlichen Haushaltsvorschriften nur begrenzt zu.<sup>16</sup> Aus diesem Grund und der damit verbundenen Priorisierung der Straßen in schlechtem Zustand ist eine wirtschaftliche Erhaltung von Straßennetzen in vielen Fällen nicht möglich.

Diese Arbeit hat die ökonomische Analyse des Prozesses der Kostenermittlung von lebenszyklusorientierten Straßenbauprojekten als Ziel. Der Fokus dieser Untersuchung liegt auf außerörtlichen Asphaltstraßen, insbesondere Landes- und Kreisstraßen. Bundes-, Landes- und Kreisstraßen werden nur vereinzelt mit outputorientierten Vertragsformen umgesetzt, obwohl Angestellte der Straßenbauverwaltungen Potentiale in der langfristigen Planung der Straßenbaumaßnahmen sehen und national wie international positive Erfahrungen mit diesen Vertragsformen vorliegen.<sup>17</sup> Im Rahmen dieser Arbeit wird geprüft, ob sich durch lebenszyklusorientierte Vertragsformen wirtschaftliche Vorteile für Auftraggeber und Auftragnehmer realisieren lassen. Hierbei stehen die Potentiale und Hindernisse in den Straßenbauverwaltungen ebenfalls im Fokus der Betrachtung, da die Rahmen- und Ausschreibungsbedingungen der öffentlichen Vergabestellen einen Einfluss auf die Durchführung und den Aufwand der Kalkulation des Auftragnehmers haben.

## 1.2 Stand der Forschung

Das Konzept der Lebenszykluskosten wurde insbesondere vom *US Department of Defence* für die Erhöhung der Kosteneffizienz von der wettbewerbliche Auftragsvergabe im Verteidigungssektor eingeführt.<sup>18</sup> Die Konzepte wurden daraufhin in der internationalen Forschung in der zweiten Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts auf Bauwerke angewendet und in Studien weiterentwickelt. In den Vereinigten Staaten wurde diese Methodik insbesondere durch das *United States Federal Government* gefördert, da für das Management des weitläufigen Straßennetzes der USA ein effizientes Infrastrukturmanagement unabdingbar ist.<sup>19</sup> Für den Straßenbau können aus diesen Quellen wertvolle Ansätze für eine Lebenszykluskostenbetrachtung gewonnen werden. Insbesondere die *American Society of Civil Engineers* beschäftigt sich seit den 90er Jahren mit dieser Thematik. Für die Lebenszykluskosten von Straßen ist dabei insbesondere das *Journal of Infrastructure Systems* relevant. Mit der Studie *Life-Cycle Costing in Municipal Construction Projects* wurde durch *Arditi und Messiha* schon in den 90er Jahren untersucht, inwiefern der Lebenszykluskostenansatz in den Städten der USA verfolgt wird. Hierbei wurde eine Nutzungsquote von Lebenszykluskostenanalysen von 40 Prozent der Städte und Kommunen festgestellt.<sup>20</sup> Von einigen Bundesstaaten existieren vorgefertigte Lebenszykluskosten-Analyse Tools, wie beispielsweise das *California Life-Cycle Benefit/Cost Analysis Model* (Cal-B/C). Diese Tools nutzen geschätzte initiale Kosten und Erhaltungskosten. Das Modell *HDM-4*

---

<sup>16</sup> Vgl. *Greiner/Mayer/Stark* (2005), S. 181.

<sup>17</sup> Vgl. *Jacob et al.* (2014), S. 186 f. und *Medda/Carbonaro/Davis* (2013), 86 f.

<sup>18</sup> Vgl. *Sheriff/Kolarik* (1981), S. 287.

<sup>19</sup> Vgl. *Hoar* (1988), S. 92.

<sup>20</sup> Vgl. *Arditi/Messiha* (1996), S. 13.

(Highway Development and Maintenance) ist eine internationale Software, welche insbesondere durch die Weltbank genutzt wird und eine einfache Eingabemaske aufweist. Dieses Modell umfasst auch die volkswirtschaftlichen Kosten inklusive der Nutzerkosten. Die Modelle sind deterministisch und greifen hauptsächlich auf feste Zyklen zur Erneuerung der Bauteile zurück.<sup>21</sup>

Die amerikanischen Konzepte wurden in Großbritannien unter der Mithilfe des *Department of Industry* und der *Royal Institution of Chartered Surveyors* an den britischen Bauproduktmarkt angepasst und in zahlreichen Normen verankert.<sup>22</sup> Die heutigen theoretischen Forschungspapiere differenzieren nicht mehr zwischen geografischen Regionen. Die englischsprachigen Lebenszykluskosten-Konzepte werden in der Literatur häufig mithilfe länderspezifischer Case-Studies angewendet.

Auch in Deutschland existieren Methoden zur Ermittlung der Lebenszykluskosten von Bauprojekten. Diese beziehen sich vorwiegend auf den Hochbau und sind traditionell technisch geprägt. Publikationen im Bereich des Straßenbaus gehen verstärkt auf Pavement Management Systeme und damit auf die Entwicklung von Straßenzuständen ein. Betriebswirtschaftliche Aspekte spielen eine untergeordnete Rolle. Für den Tiefbau existieren Modelle, die die wirtschaftliche Optimierung von Tunnelbauwerken beschreiben.<sup>23</sup> Insbesondere im Fernstraßenbau wird seit dem Aufkommen der ersten PPP-Projekte lebenszyklusbezogen kalkuliert. Allerdings wurden keine der Kalkulationsmethoden durch die Unternehmen veröffentlicht.

In allen Quellen wird bei der Ermittlung der Lebenszykluskosten eine Abzinsung der Kosten nach der Barwertmethode vorgenommen. Jedem Ansatz liegen unterschiedliche Annahmen zugrunde, welche zwischen den Bausparten und Ländern variieren und für eine Weiterentwicklung der Konzepte angepasst und weiterentwickelt werden können.

Aufgrund der unterschiedlichen Ansätze für die Bausparten wird im Folgenden auf die Konzepte für den Straßenbau, insbesondere für das sekundäre Netz inkl. Landes-, Staats- und Kreisstraßen eingegangen. Neben der Grundlagenliteratur existieren verschiedene Ansätze von Lebenszykluskostenermittlungen für Straßen. Trotz der vorhandenen Konzepte sowie der Besonderheiten und Regulierungen des Deutschen Baugewerbes<sup>24</sup> wird bei der Analyse auch auf die internationalen Konzepte eingegangen, um auch die Schwachstellen in der nationalen Forschung und Regulierung zu eruieren.

Im deutschsprachigen Raum existieren für den Straßenbau im Vergleich zum Hochbau weniger Publikationen über die Lebenszykluskosten von Straßeninfrastruktur. Dies ist unter

---

<sup>21</sup> Eine Übersicht über die Lebenszykluskostenanalyse-Tools in den vereinigten Staaten findet sich in *Babashamsi et al.* (2016), S. 251.

<sup>22</sup> Vgl. *Royal Institution of Chartered Surveyors* (2016), S. 4 und *Woodward* (1997), S. 335.

<sup>23</sup> Siehe hierzu *Engelhardt* (2015).

<sup>24</sup> Siehe *Ressel/Tejkl/Klöpfer* (2013), S. 23 f. für die Zusammenstellung ausgewählter internationaler Konzepte. Die Autoren waren der Auffassung, dass eine Implementierung der internationalen Konzepte an den spezifischen Randbedingungen in Deutschland nicht praktikabel ist.

anderem auf den geringen Anteil der Straßenbauprojekte im Vergleich zum gesamten Bauvolumen in der Bundesrepublik sowie den PPP-Anteil von unter fünf Prozent innerhalb dieses Segmentes zurückzuführen.<sup>25</sup> Zur Ermittlung der Lebenszykluskosten für Hochbauprojekte dient die DIN 18960:2008-02. Diese Norm enthält präzise Vorgaben, wie die Nutzungskosten eines Gebäudes zu ermitteln sind. Eine solche Norm existiert in Deutschland für den Straßenbau nicht. Von der Bundesanstalt für Straßenwesen wurden bereits Forschungsvorhaben zum Thema Straßenerhaltung durchgeführt. Diese resultierten in Publikationen, die sich mit dem Thema der technisch-wirtschaftlichen Optimierung des Pavement-Management-Systems beschäftigen.<sup>26</sup> Durch die Komplexität und die damit verbundenen steigenden Datenmengen<sup>27</sup> erfordern alle Modelle ein effizientes Datenmanagement.

*Rübensam et al.* haben 2010 mit dem Forschungspapier „*Erarbeitung eines Prototypen eines technisch-wirtschaftlichen Kostenminimierungsmoduls für das Erhaltungsmanagement (PMS)*“ eine umfassende Betrachtung der Minimierung der Lebenszykluskosten für Straßenbauwerke vorgelegt. Dies dient gleichzeitig als Grundlage für das „*Arbeitspapier zur Erhaltungsplanung R4 – Bewertung abschnittsbezogener Erhaltungsstrategien*“ der *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)*, welches in der oben genannten Publikation als Anhang enthalten ist. Hierbei wurde eine monetäre Bewertung der Gesamtsubstanz und damit eine Zuordnung des Nutzens zu den Kosten vorgenommen.

RESSEL ET AL. erarbeiteten 2013 mit der Methodenstudie zur *Life-Cycle-Bewertung von Straßenbefestigungen* eine umfassende Darstellung der Ermittlung der Lebenszykluskosten von Straßen. Diese wurde als Endbericht im Rahmen eines Forschungsvorhabens des *Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)* in einem experimentellen Software-Tool - „*LCD – Life-Cycle-Analyse an Straßenkonstruktionen in Deutschland*“ - umgesetzt. Neben der Zustandsentwicklung der neuen Fahrbahnbefestigungen wurden auch die Rücksetzwerte der spezifischen Erhaltungsmaßnahmen abgebildet. Ergebnis ist eine ganzheitliche, technische Life-Cycle-Bewertung, welche sich nicht monetär abbilden lässt. Da die Arbeit größtenteils die technischen Parameter untersucht, beschränkt sich die wirtschaftswissenschaftliche Betrachtung auf die Darstellung der Kostenarten und die dynamische Investitionskostenrechnung mithilfe des Nominalzinssatzes. Die Vertragsformen zur Umsetzung einer lebenszyklusorientierten Bauweise sowie Untersuchungen der institutionellen Rahmenbedingungen sind nicht Teil der Arbeit.

*Birbaum* erstellte 2016 eine Dissertation über die Lebenszykluskosten von Asphaltstraßen, welche einen Ansatz darlegte, die Lebenszykluskosten von Straßen anhand konkreter Zahlenwerte zu kalkulieren.<sup>28</sup> Es wurde hierbei auch auf die Wechselwirkung der einzelnen Komponenten eingegangen. Die Zeit bis zum Ausfall der Deck- und Binderschicht wurde als konstant angenommen. Diese sollten in Szenarien entsprechend variiert werden und sich

---

<sup>25</sup> Vgl. *Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V.* (2015).

<sup>26</sup> Siehe *Rübensam/Schwiethal/Maerschalk* (2010).

<sup>27</sup> Siehe *OECD* (2001), S. 7.

<sup>28</sup> *Birbaum* (2016).

speziell auf für Bundes- und Landesstraßen beziehen, da sich diese Betrachtung größtenteils auf Bundesfernstraßen bezieht. Weiterhin wurden auch die Zinskosten als konstant angesehen. Die finanzwirtschaftlichen Komponenten sollten auf deren Einfluss auf die Lebenszykluskosten im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse geprüft werden.

*Stöckner et al.* veröffentlichten 2013 einen Artikel<sup>29</sup> in der Zeitschrift *Straße und Autobahn*, in dem eine mögliche Vorgehensweise bei der Implementierung eines Lebenszyklusmanagements, insbesondere von kommunalen Straßen, eingegangen wurde. Dabei gingen die Autoren auf die gegebenen Randbedingungen und Einflussfaktoren ein und zeigten auch Szenarien auf, die die unterschiedliche Entwicklung der Straßeninfrastruktur bei verschiedenen Finanzszenarien darstellten. Dabei bezieht sich das Modell auf die Oberflächeneigenschaften. Auf die dem Modell zugrunde gelegten Berechnungsmethodik und den angenommenen Zustandsfunktionen wurde nicht im Detail eingegangen.

*Altmüller* stellte 2012 mit seiner Dissertation die Entwicklung einer differenzierten Preisgleitklausel für Funktionsbauverträge vor.<sup>30</sup> Hierbei wurde eine umfangreiche Analyse der bisher umgesetzten Projekte, welche mit Funktionsbauverträgen realisiert wurden, vorgenommen. Zudem erfolgte eine intensive Analyse des Vergütungsmechanismus für Funktionsbauverträge sowie eine Zusammenfassung der Risikoallokation der umgesetzten Projekte. Zudem wurden ebenfalls Expertenbefragungen zum Verbesserungspotential von Funktionsbauverträgen durchgeführt. Hieraus wurde ein konkreter Handlungsbedarf bei der Standardisierung der vertraglichen Preisgleitklauseln für Funktionsbauverträge abgeleitet und im Rahmen der Dissertation verbessert. Es werden zudem Voraussetzungen für die Teilnahme an Ausschreibungen für Funktionsbauverträge herausgearbeitet. Der Prozess der Angebotskalkulation seitens der Auftragnehmer steht nicht im Vordergrund der Dissertation. Zusätzlich enthält die Arbeit Handlungsempfehlungen für die Standardisierung von Angebotswertungen und der Vergütung von Funktionsbauverträgen.

Lebenszyklusorientierte Straßenbauprojekte bei Bundes-, Landes- und Kreisstraßen wurden bisher nur vereinzelt mithilfe von PPP- und Funktionsbauverträgen realisiert. Neben Projektberichten, Leitfäden und Machbarkeitsstudien<sup>31</sup> über die entsprechenden Vorhaben wurden die langfristigen Erfahrungen mit den Vertragstypen noch nicht wissenschaftlich ausgewertet. Eine ex-post Untersuchung zur Feststellung der tatsächlichen Wirtschaftlichkeit der lebenszyklusorientierten Modelle wurde bisher nicht durchgeführt, da abgeschlossene Projekte und die historischen Kostendaten fehlen. Da bereits lebenszyklusorientierte Projekte im Bundesfernstraßenbau ausgeschrieben wurden, dürften Studien zur Auswertung nach dem Abschluss der ersten Projekte folgen.

---

<sup>29</sup> *Stöckner/Gerdes/Schwotzer* (2013)

<sup>30</sup> *Altmüller* (2012).

<sup>31</sup> Siehe *Korn/Miksch/Winter* (2011).

Bei den bisherigen Publikationen handelte es sich vorwiegend um Betrachtungsweisen aus Sicht des Auftraggebers. Diese zielen auf die Abschätzung der entstehenden Kosten der öffentlichen Hand ab. Kosten für Bau, Erhaltung, Betrieb und Finanzierung von Straßeninfrastruktur entstehen aber primär auf Auftragnehmerseite, welcher die Kosten dann über seinen Angebotspreis an den Auftraggeber weiterleitet. Eine standardisierte Vorgehensweise für die Durchführung des Kalkulationsprozesses seitens des Auftragnehmers ist bisher noch nicht vorhanden. Dies könnte auf unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Angebotsbearbeitung und –erstellung durch die Unternehmen zurückzuführen sein. Im Gegensatz zu konventionellen Straßenbauprojekten sind lebenszyklusorientierte Projekte durch die Festlegung von funktionalen Anforderungen gekennzeichnet. Der Input und die damit verbundene Gliederung in Einzel- und Gemeinkosten ist für den Auftraggeber von untergeordneter Bedeutung. Leitfäden zur Kalkulation der Teilleistungen existieren nur für konventionelle Ausschreibungen. Der Grund hierfür liegt in der Komplexität, Personalintensität und Interdisziplinarität der Angebotskalkulation, welche nur ansatzweise durch Forschungspapiere abgebildet werden kann.

### **1.3 Zielsetzung**

Die nachfolgende Arbeit stellt eine Ergänzung der existierenden Konzepte und damit eine Grundlage einer Standardisierung der Kalkulationsmethodik aus Sicht der ausführenden Unternehmen dar. Hierbei wird auch die Sicht der öffentlichen Straßenbauverwaltung berücksichtigt, da diese die Erstellung und Strukturierung der Ausschreibungs- und Vertragsunterlagen durchführen.

Im Rahmen der Arbeit werden die technischen und betriebswirtschaftlichen Grundlagen für die Ermittlung von Lebenszykluskosten im Straßenbau aufgearbeitet. Darauf aufbauend wird geprüft, ob sich die Lebenszykluskostenkalkulation auf Bundes-, Landes-, und Kreisstraßen übertragen lässt.

Auf Basis der vorhandenen Quellen wird ein Modell entwickelt, das Ansätze für die Standardisierung der Lebenszykluskostenkalkulation von Bundes-, Landes- und Kreisstraßen beinhaltet. Dies basiert auf den Inhalten der bisherigen Publikationen über Lebenszykluskosten und fügt weitere wirtschaftliche Aspekte wie dynamische Investitionskostenrechnung, Risikokosten sowie vertragliche Besonderheiten hinzu.

Ziel der Arbeit ist es herauszuarbeiten, wie die Kalkulation von Lebenszykluskosten für die Baumaßnahmen an Straßen aus Sicht des Auftragnehmers vorgenommen wird und wie der Prozess durch Maßnahmen der öffentlichen Auftraggeber effizienter gestaltet werden kann. Als Ergebnis soll hierbei ein Leitfaden entwickelt werden, der sowohl die benötigten Eingangsdaten als auch die zu berücksichtigenden Kostenkomponenten identifiziert. Diese Informationen sind sowohl für die Straßenbauverwaltungen als auch für bauausführende Unternehmen als Grundlage für die Abschätzung der Lebenszykluskosten nutzbar.

Die Teilziele der Arbeit sind wie folgt formuliert:

- (1) *die Untersuchung der Übertragbarkeit des Lebenszykluskonzeptes auf den regionalen Straßenbau mithilfe einer modularen Kalkulation,*
- (2) *die Analyse der Vorteile von outputorientierten Vertragsformen für Straßenbauleistungen,*
- (3) *die Herausarbeitung der Hürden und Potential der outputorientierten Vertragsformen,*
- (4) *die Entwicklung von Ansätzen zur Standardisierung der Angebotserstellung von lebenszyklusorientierten Straßenbauprojekten und*
- (5) *die Herausarbeitung des Optimierungspotentials bei der Kalkulation von lebenszyklusorientierten Straßenbauprojekten.*

Im Gegensatz zu den Publikationen aus dem technischen Bereich ist das Ziel der Arbeit keine technische Angebotsbearbeitung durch die Anwendung der Lebenszykluskostenanalyse. Stattdessen erfolgt eine Erweiterung der bestehenden Konzepte um die betriebswirtschaftlichen Prozesse und Komponenten, insbesondere der Risiko- und Finanzierungskosten. Es wird weiterhin auf die Hindernisse der outputorientierten Ausschreibungen unter Berücksichtigung der Umsetzbarkeit durch die öffentlichen Straßenbauverwaltungen eingegangen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen damit die folgenden Fragestellungen bearbeitet werden:

- (1) *Wie ist Outputorientierung bei Vertragsformen im Straßenbau definiert?*
- (2) *Wie erfolgt die Lebenszykluskostenermittlung im Straßenbau?*
- (3) *Kann eine modulare Kalkulation auf den Straßenbau angewendet werden?*
- (4) *Welche Optimierungsmöglichkeiten gibt es bei der derzeitigen Ausschreibungspraxis?*
- (5) *Kann eine Standardisierung der Ermittlung der Lebenszykluskosten aus Sicht des Auftragnehmers erfolgen?*

#### **1.4 Abgrenzung**

In der aufgeführten Literatur werden die Lebenszykluskosten ausschließlich für die Darstellung der Kosten für die öffentliche Hand dargestellt. Im Rahmen der Arbeit werden die dargestellten Konzepte für die Optimierung der Angebotskalkulation für Straßenbauprojekte aus Sicht der Bieter, also der potentiellen Auftragnehmer, angepasst.

Es existieren bereits Untersuchungen zur Ermittlung der Lebenszykluskosten von Bundesautobahnen. Durch den großen Anteil der untergeordneten Straßenkategorien am Gesamt-