

Lebenszykluskostenbewertung von Schutzeinrichtungen

FA 3.512

Forschungsstellen: thinkstep AG, Leinfelden-Echterdingen
DTV-Verkehrsconsult GmbH, Aachen

Bearbeiter: Kathmann, T. / Scotti, C. / Eckert, S.
/ Hendrich, A. / Horlacher, S. /
Herrmann, C. / von Heel, E.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale
Infrastruktur, Bonn

Abschluss: September 2019

1 Ziel des Forschungsprojekts

Für einen umfassenden Kostenvergleich von Schutzeinrichtungen ist es aufgrund der langen Lebensdauer und damit verbundener Kostenarten häufig nicht ausreichend, ausschließlich die Investitionen zu berücksichtigen. Vielmehr ist es entsprechend der Kriterien einer nachhaltigen Bewertung notwendig, den gesamten Lebenszyklus zu betrachten, um die Gesamtkosten "von der Wiege bis zur Bahre" zu ermitteln.

Als Methode für die ökonomische Bewertung über den Lebenszyklus wurde die Lebenszykluskostenanalyse (engl.: Life Cycle Costing, LCC) gewählt. Die LCC ermöglicht die ökonomische Optimierung der Gesamtauswirkungen von (Bau-)Maßnahmen auf lange Sicht, indem auch die Nutzungs- und Rückbaukosten in die Betrachtung eingehen.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, mithilfe der LCC-Methode die relevanten Kostenkomponenten, deren Größenordnung und Auswirkungen auf die Lebenszykluskosten von Schutzeinrichtungen zu untersuchen. Anhand der Ergebnisse wurde die Anwendbarkeit und Aussagekraft der LCC-Methode für die ökonomische Bewertung von Schutzeinrichtungssystemen überprüft. Insbesondere wurde untersucht, welche Kostenkomponenten sich unter welchen Bedingungen als relevant erweisen und bei einem Kostenvergleich verschiedener Systeme berücksichtigt werden sollten.

Anhand der Ergebnisse wurden vereinfachte Ansätze entwickelt, die eine praxisnahe Anwendung der Lebenszykluskostenberechnung von Schutzeinrichtungen ermöglichen. Dies liegt in Form eines Excel-Rechners vor, mit dessen Hilfe durch die Eingabe individueller Parameter ein maßnahmenbezogenes und standortspezifisches LCC-Ergebnis ermittelt werden kann.

Die Ergebnisse tragen auch dazu bei, bereits in der Planungsphase von Schutzeinrichtungen die über den gesamten Lebenszyklus anfallenden und relevanten Kosten der Systeme zu berücksichtigen.

2 Untersuchungsmethodik

Das Untersuchungsdesign basiert zunächst auf einer Literaturrecherche, bei der die bisherige Anwendung von LCC bei Bauvorhaben allgemein sowie im speziellen bei Schutzeinrichtungen analysiert wurde, um daraus einen Überblick über die methodischen Ansätze und die relevanten Kostenarten zu gewinnen. Im weiteren Projektverlauf wurde dies durch eine Datenerhebung und Expertendiskussionen weiterentwickelt und komplettiert. Die funktionale Einheit für die Bewertung wurde definiert als: "Ein 1,0 km langer Abschnitt einer Schutzeinrichtung der Aufhaltestufe H2 aus Standardelementen an einer Autobahn im Mittelstreifen einer Richtungsfahrbahn".

Der Betrachtungszeitraum für die Bestimmung der Lebenszykluskosten von Fahrzeugrückhaltesystemen wurde mit 25 Jahren veranschlagt und umfasst:

- den Zeitraum bis zur Inbetriebnahme der Schutzeinrichtung. Hierunter fallen die Ausschreibung, Planung und Beauftragung sowie Herstellung und Errichtung der Systeme,
- die Nutzung der Systeme über ihre Lebensdauer und
- die Phase des Abrisses/Rückbaus.

Zur Ermittlung der in der Praxis verwendeten Fahrzeugrückhaltesysteme und der damit verbundenen Kosten fand 2018 eine Datenerhebung bei Interessensvertretern und beteiligten Akteuren statt. Das Jahr 2018 wurde als Bezugsjahr herangezogen, um eine einheitliche Bewertung verschiedener Kostenangaben zu ermöglichen.

Als Berechnungsmethode für die LCC wurde auf die Kapitalwertmethode zurückgegriffen. Der Kapitalwert für ein betrachtetes Investitionsobjekt ist die Summe aus der Investition (Anfangsauszahlung) und dem Gegenwartswert der damit verbundenen zukünftigen Zahlungsreihe. Dabei werden die über die Nutzungsdauer entstehenden Zahlungen auf den Investitionszeitpunkt abgezinst (diskontiert). Ergebnis der Kapitalwertmethode ist der Nettobarwert, dessen Höhe ein Maß für die Wirtschaftlichkeit einer Investition darstellt und so verschiedene Investitionsoptionen mit unterschiedlichen Folgekosten vergleichbar macht. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die für die LCC der Schutzeinrichtungen verwendeten Kostenparameter.

Tabelle 1: Übersicht der für die LCC angesetzten Kosten der betrachteten Schutzeinrichtungen

Aufstellort	Bezeichnung der Schutzeinrichtung	Kosten für das Bezugsjahr 2018						
		Investition		Nutzungskosten			Externe Kosten	Kosten am Lebensende
		Baukosten €/km	Ausschreibung, Planung und Beauftragung €/km	Kehren €/km ² a	Grünpflege €/km ² a	Reparatur nach Unfällen ¹ €/km ² a		
Freie Strecke	SE 1	86.590	5.195	0	1.000	122	9.949	-10.000
	SE 2	51.590	3.095	0	1.000	91	9.949	-6.000
	SE 3	102.180	6.131	95	500	175	23.578	28.800
	SE 4	67.260	4.036	95	500	74	19.766	14.000
Bauwerk	SE 5	145.000	6.815	0	-	154	9.949	-8.000
	SE 6	170.000	7.990	95	-	212	23.578	29.150
	SE 7	205.071	9.638	95	-	74	19.766	14.000
Beengte Verhältnisse	SE 8	110.000	6.600	0	-	128	9.949	-8.000
	SE 9	130.000	7.800	95	-	51	23.578	33.030
	SE 10	84.000	5.040	95	-	74	19.766	14.000

¹ PKW- und Schwerverkehrsunfälle, nur Unfälle mit unbekanntem Verursacher (20 %)
² Umweltwirkungen für Herstellung und Lebensende

3 Ergebnisse

Zur Vereinfachung der Lebenszykluskostenanalyse und damit der Erhöhung ihrer Anwendbarkeit in der Praxis soll die Berechnung auf die wesentlichen Kosten beschränkt werden. Dazu wurden folgende Wesentlichkeitskriterien definiert:

- Hat für alle Systeme eines Aufstellorts eine einzelne Kostenart einen Anteil von < 1 % an den Lebenszykluskosten, kann diese Kostenart vernachlässigt werden.

- Hat für alle Systeme eines Aufstellorts eine Kostenkategorie (Anfangsinvestition, Gesamtnutzungskosten, Kosten am Lebensende) in Summe einen Anteil von < 5 % an den Lebenszykluskosten, kann diese Kostenkategorie vernachlässigt werden.

In Bild 1 sind die Ergebnisse der Lebenszykluskostenberechnung mit sämtlichen Grundlagendaten dargestellt. Aus der Anwendung der Wesentlichkeitskriterien folgt, dass für die Aufstellorte Bauwerk und beengte Verhältnisse die Betrachtung der Nutzungskosten entfallen kann.

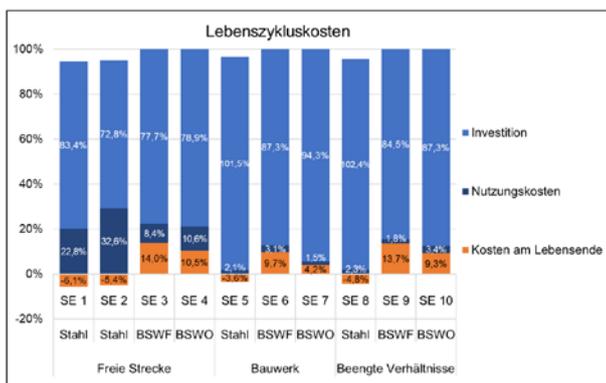


Bild 1: Ergebnis der Lebenszykluskostenanalyse

In Bild 2 sind die Bestandteile der relevanten Nutzungskosten für den Aufstellort freie Strecke dargestellt. Die Grünpflegekosten, welche nur am Aufstellort freie Strecke anfallen, nehmen mit mindestens 82 % der Nutzungskosten den größten Anteil ein.

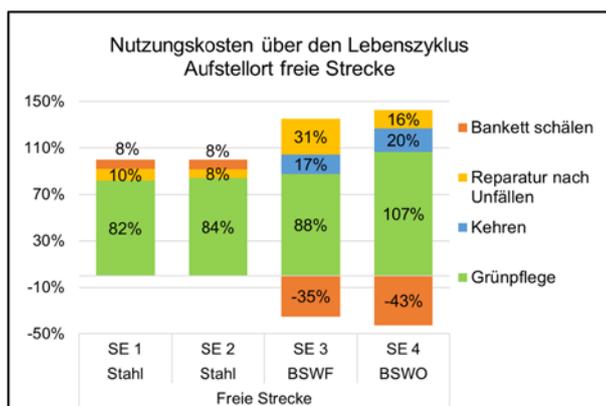


Bild 2: Nutzungskosten Aufstellort freie Strecke (relative Anteile)

Zur schnellen Abschätzung, inwiefern die Nutzungskosten bei einer Schutzeinrichtung als wesentlich anzusehen sind, kann Bild 3 herangezogen werden. Aus dem dargestellten Verlauf ergibt sich, dass die Nutzungskosten bis zu einer Höhe von 0,27 % der Baukosten einen Anteil von < 5 % an den Lebenszykluskosten ausmachen, was anhand der grünen horizontalen Linie zu erkennen ist. Bei einer Anfangsinvestition von 100 000 € müssten die jährlichen Nutzungskosten demnach 270 €/a übersteigen, um wesentlich zu sein. Die beiden Kästen verdeutlichen, dass die Gruppe der freien Strecke oberhalb der 5 % und die beiden Gruppen Bauwerk und beengte Verhältnisse unterhalb der 5 % liegen.

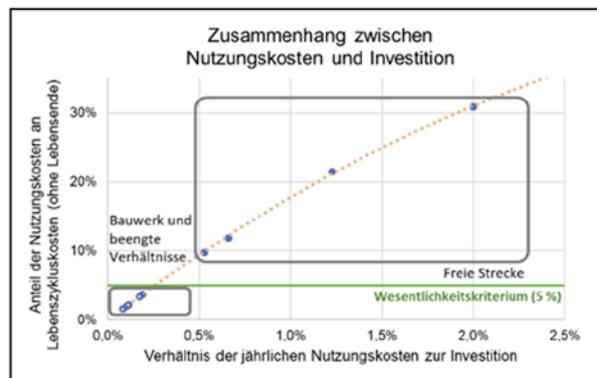


Bild 3: Zusammenhang zwischen Nutzungskosten und Investition

Zusätzlich wurden die externen Kosten betrachtet. Diese setzen sich aus den Umweltkosten der Herstellung der Systeme anhand von Treibhauspotenzial sowie den Reparaturkosten nach Unfällen zusammen, bei welchen der Verursacher bekannt ist und die Reparatur deshalb von der Versicherung gezahlt wird. Werden diese Kosten mitbetrachtet, steigen die Lebenszykluskosten im Vergleich zu den in Bild 1 dargestellten um 10 bis 23 % an.

Zur Überprüfung der Ergebnisse wurden folgende Größen einer Sensitivitätsanalyse unterzogen:

- Diskontierungsrate,
- Preissteigerungsrate,
- Jährliche Nutzungskosten,
- Externe Kosten und
- Kosten für Abriss, Rückbau und Entsorgung.

Bei den ersten drei Größen wurde überprüft, ob eine Variation der Einflussparameter die Nutzungskosten so erhöht, dass das Fünf-Prozent-Wesentlichkeitskriterium für die Nutzungskosten an den Aufstellorten Bauwerk und beengte Verhältnisse überschritten wird. Die Analysen ergaben, dass die Variation der ersten beiden Parameter nur in den Extremfällen (0,0 % Diskontierung und 5,2 % Preissteigerung) zu einer minimalen Überschreitung (5,2 %) des Wesentlichkeitskriteriums führt. Somit erweisen sich die Ergebnisse als robust. Eine Verdoppelung der jährlichen Nutzungskosten hingegen führt zur Überschreitung des Wesentlichkeitskriteriums bei jeweils zwei der drei betrachteten Systeme am Aufstellort Bauwerk und beengte Verhältnisse. Deshalb sollten die Nutzungskosten unter den einzelfallspezifischen Randbedingungen immer einer Wesentlichkeitsprüfung unterzogen werden.

Die externen Kosten des Treibhauspotenzials wurden nach der Empfehlung der UBA-Methodenkonvention 3.0 ausgehend von 180 €/t mit 640 €/t auf ihre Sensitivität hin überprüft. Sie machen bei einer Internalisierung einen Anteil an den Lebenszykluskosten zwischen 25 und 46 % aus.

Der Einfluss der Kosten für Abriss, Rückbau und Entsorgung am Lebensende auf das Gesamtergebnis verändert sich bei einer Verdopplung oder Halbierung wesentlich, weshalb diese Kosten bei der LCC in jedem Fall zu berücksichtigen sind.

Zur praktischen Anwendung des in der Studie erarbeiteten vereinfachten LCC-Ansatzes wurde ein anwenderfreundlicher

Excel-Rechner entwickelt. Als Standardvorgaben sind die in der Studie ermittelten Werte hinterlegt. Der Nutzer kann jedoch die maßnahmenspezifischen Besonderheiten berücksichtigen, indem er die vorgegebenen Standardwerte anpasst und mit seinen eigenen Werten überschreibt. Auf Basis der gemachten Angaben werden die Lebenszykluskosten automatisiert berechnet und in Abbildungen veranschaulicht. Das kostengünstigste System sowie dessen Kosten werden explizit als Ergebnis ausgewiesen.

Folgende Erkenntnisse zu Lebenszykluskosten von Schutzeinrichtungen fassen sich zusammen:

- Bei allen untersuchten Systemen nimmt die Investition zu Beginn (Baukosten sowie Kosten für Ausschreibung, Planung und Beauftragung) den größten Anteil an den Lebenszykluskosten ein.
- Die Nutzungskosten spielen eine untergeordnete Rolle. Ist jedoch Grünfläche vorhanden, wie dies am Aufstellort der freien Strecke der Fall ist, haben die Grünpflegekosten den größten Anteil an den Nutzungskosten und überschreiten den Wesentlichkeitswert von 5 %.
- Werden externe Kosten (Umweltkosten der Herstellung der Systeme und Reparaturkosten nach Unfällen mit bekanntem Verursacher) internalisiert, erhöhen sich die Lebenszykluskosten um 10 bis 23 %.
- Im Rahmen der Sensitivitätsanalysen erwiesen sich die Ergebnisse innerhalb der hier gewählten Grenzen als robust. Allerdings führt die Erhöhung des Emissionspreises auf 640 €/tCO_{2e} (Matthey & Bünger, 2018)¹ zu einer signifikanten Erhöhung der Ergebnisse.
- Bei einer Entscheidung im konkreten Anwendungsfall sind die Randbedingungen der jeweiligen Baumaßnahme ein entscheidender Faktor. Ein Beispiel ist eine spezielle Bepflanzung der Grünfläche und dadurch häufigere beziehungsweise aufwendigere Grünpflege und folglich auch höhere Kosten. Um deren Auswirkungen auf die Lebenszykluskosten zu ermitteln, können im Excel-Rechner maßnahmenbezogene Randbedingungen spezifisch eingegeben werden.

4 Weiterer Forschungsbedarf

Folgender weiterer Forschungsbedarf wurde identifiziert:

- Ergänzung und Verdichtung der Datengrundlage weiterer betriebsdienlicher Arbeiten (zum Beispiel Winterdienst, Entwässerung).
- Weitere Untersuchung der Kosten für Ausschreibung, Planung und Beauftragung, die in der Studie mithilfe der HOAI bestimmt wurden.
- Ermittlung des theoretischen Werts der Grünpflege im Mittelstreifen ohne Schutzeinrichtung, da die Kosten

der Grünpflege in der Studie vermutlich überschätzt werden.

- Genauere Ermittlung der Kosten für das Bankettschälen. Diese wurden aktuell nur sehr grob abgeschätzt und die Entsorgung des Schälguts nicht berücksichtigt.
- Die jährlichen Kosten für Verwaltung finden aufgrund der mangelnden Datenbasis bislang keine Berücksichtigung. Diese könnten ermittelt und in die Berechnungen aufgenommen werden.
- Analyse der Lebenszykluskosten im Seitenstreifen, um auch dafür einen umfassenderen Kostenvergleich mittels Lebenszykluskostenanalyse zu ermöglichen.
- Genauere Untersuchung der externen Kosten hinsichtlich individueller CO_{2e}-Werte je Art und Ausbau der Schutzeinrichtung sowie variierende CO_{2e}-Kostengrößen werden empfohlen. Darüber hinaus ist auch die Erweiterung der Internalisierung externer Umweltkosten zu anderen Umweltindikatoren wie Versauerung, Eutrophierung und Sommersmog denkbar.

¹Matthey, A. & Bünger, B., 2018. Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten - Kostensätze, Dessau Roßlau: Umweltbundesamt.