

Modellierung der Life Cycle Kosten für den Next Generation Train (NGT)

Simone Ehrenberger, Moritz Fischer, Roman Legat

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart

1 Einführung

Die ökonomischen Vorteile von Investitionsgütern eröffnen sich oft erst über die Lebensphase eines Produktes. Einsparungen bei Unterhalts- und Instandhaltungskosten können in vielen Fällen höhere Einkaufspreise nach kurzer Zeit egalisieren. Eine zuverlässige Methode zur Quantifizierung von Produktkosten über den gesamten Lebensweg stellt die Life Cycle Costing (LCC)-Analyse dar. Aufgrund der hohen Investitionskosten und der langen Lebensdauer spielen die Lebenszykluskosten bei der Einführung neuer Schienenfahrzeuge in den Markt eine entscheidende Rolle. So können die ökonomischen Vorteile neuer Technologien quantifiziert und mit konventionellen Fahrzeugen verglichen werden.

Die wesentliche Vorgehensweise einer LCC-Analyse ist in der Norm DIN EN 60300-3-3:2004 beschrieben. Als vorrangiges Ziel von Kostenbetrachtungen eines Produktlebenszyklus wird angeführt, dass mit dieser Methodik „*Eingabedaten für Entscheidungen in jeder oder in allen Phasen des Lebenszyklus eines Produkts*“ geliefert werden können. Weiterhin wird durch die Erstellung eines LCC-Modells der Einfluss verschiedener Kosten auf den Gesamtlebenszyklus identifiziert. Beispiele für die in der Norm angesprochenen Entscheidungen, die durch eine LCC unterstützt werden sollen, sind die Bewertung und der Vergleich alternativer Entwurfs- oder Entsorgungskonzepte, die Abschätzung der Rentabilität von Produkten oder die Identifizierung von Kostentreibern und kostenwirksamen Verbesserungen.

2 Das NGT Life Cycle Costing Tool

Bei der Betrachtung der unterschiedlichen Kosten für den Einsatz des *Next Generation Train* (NGT) im Vergleich zu einem heutigen Schienenfahrzeug müssen nicht nur die Fahrzeuge selbst betrachtet werden, sondern auch die verschiedenen Rahmenbedingungen, in denen sich die Fahrzeuge bewegen. Aus dem veränderten Betrieb ergeben sich zum Beispiel auch unterschiedliche Kosten für Personal und Instandhaltung der Infrastruktur. Fahrzeugseitig sind neben unterschiedlichen Herstellungskosten für das Fahrzeug selbst auch der Energieverbrauch und die Instandhaltungskosten relevant. Zudem ergeben sich andere Anforderungen an die Infrastruktur. Dies betrifft unter anderem die Art des Fahrwegs und die Auswahl verschleißanfälliger Komponenten. In Abbildung 1 sind die verschiedenen Bereiche, die für die LCC-Berechnungen des NGT berücksichtigt werden, dargestellt. Neben zeitlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen kann eine Referenzstrecke als Vergleichsgrundlage verschiedener Fahrzeuge hinterlegt werden. Die fahrzeugspezifischen Neuerungen können hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Herstellungs-, Betriebs- und auch Infrastrukturkosten analysiert werden.

Das NGT-LCC-Tool ist als browserbasierte und datenbankgestützte Anwendung konzipiert. Durch die Berücksichtigung verschiedener Aspekte eines Fahrzeuglebenszyklus ergibt sich eine Vielzahl von Variationsmöglichkeiten einzelner Kostenelemente. So können zum Beispiel bei einem Fahrzeug verschiedene Varianten von Innenausbauten untersucht werden oder die Personalkosten anhand verschiedener Tarifmodelle abgebildet werden. Die Kombination solcher Variationen wird durch die Möglichkeit der Szenarienbildung im LCC-Tool vereinfacht. Zudem kann durch die Einbindung eines Gleichungssystemlösers die Zielvariable gewechselt werden. Dies ermöglicht eine bessere Analyse möglicher Fahrzeug- oder Betriebsszenarien.

Mit Hilfe des NGT-LCC-Tools soll zum Beispiel beantwortet werden, wie sich der Einbau einer neuen Komponente auf die Lebenszykluskosten des Zuges auswirkt oder welchen Vorteil längere Wartungszyklen eines Bauteils bezüglich der gesamten Instandhaltungskosten haben. Darüber hinaus können die Kosten für den Bau und Unterhalt der gewählten Referenzstrecke ermittelt werden. Aufgrund einiger technischer Besonderheiten des NGT, wie zum Beispiel das zweistöckige Ein- und Aussteigen, spielen die Infrastrukturkosten eine wichtige Rolle. Für den Vergleich der Infrastrukturanpassungen für den Betrieb des NGT im Vergleich zu einem Referenzfahrzeug werden

die Gesamtkosten für die Infrastruktur auf der gewählten Referenzstrecke anhand definierter Streckeneigenschaften berechnet. Dazu zählen die Streckenlänge, Anzahl von Brücken und Tunneln, deren Länge sowie die Anzahl und Ausstattungsmerkmale der Bahnsteige.

Ein Schwerpunkt der LCC-Untersuchungen für den NGT liegt in der Analyse der Investitionskosten, die sich aus der Umsetzung neuer Technologien für ein Schienenfahrzeug ergeben. Die technischen Spezifikationen des NGT, wie zum Beispiel die Materialauswahl für die Wagenkästen in Leichtbauweise, führen zu höheren Kosten im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen. Demgegenüber stehen Einsparungen in der Betriebsphase des NGT.

Die Einsparungen in der Fahrzeuginstandhaltung werden durch die Berechnung der Kosten für die Wartung und Erneuerung einzelner Subsysteme und Komponenten abgebildet. Der Fahrzeuglebenszyklus wird dabei durch Wartungsintervalle dargestellt. Die komponentenweise Kostenbetrachtung der einzelnen Wartungsintervalle umfasst die Teilkosten für die Wiederbeschaffung zu erneuernder Teile sowie die Personal- und Teilekosten für Diagnose, Einbau und Aufarbeitung von Neu- bzw. Ersatzteilen. Anhand verschiedener Szenarien werden die Einsparungen durch veränderte Instandhaltungszyklen und geringeren Verschleiß der Fahrzeugteile ausgewertet.

In vielen Fällen können für die verschiedenen Kostenelemente ungefähre Kosten angegeben werden. Diese lassen sich in Spannbreiten fassen, in denen sich die zu erwartenden Kosten für ein Element bewegen. Solche Unsicherheiten und Spannbreiten der Eingangsdaten werden im NGT-LCC-Modell mittels eines Monte-Carlo-Ansatzes berücksichtigt. Im LCC-Modell können die Basisdaten mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen versehen werden, die sich in den Ergebnissen ausdrücken. Beim Start der Simulation wird nach Auswahl einer Kostenverteilung einer Variablen hierzu die Anzahl n der Versuchswiederholungen angegeben. Die Berechnung wird daraufhin n -fach wiederholt und die Eingabevariablen werden entsprechend der Verteilungsfunktion zufällig gezogen. Im Ergebnis kann dann die Verteilung der Ausgabevariablen und die Relevanz der Unsicherheiten der Eingabedaten auf das Endergebnis untersucht werden.

Die mit dieser Methodik untersuchten LCC-Kosten des NGT ermöglichen eine Abschätzung darüber, an welchen Stellen im Lebensweg des NGT mit niedrigen oder höheren Kosten im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug zu rechnen ist. Es soll gezeigt werden, dass die im NGT eingesetzten neuen Technologien zu Kosteneinsparungen im Lebenszyklus eines Schienenfahrzeugs führen können.

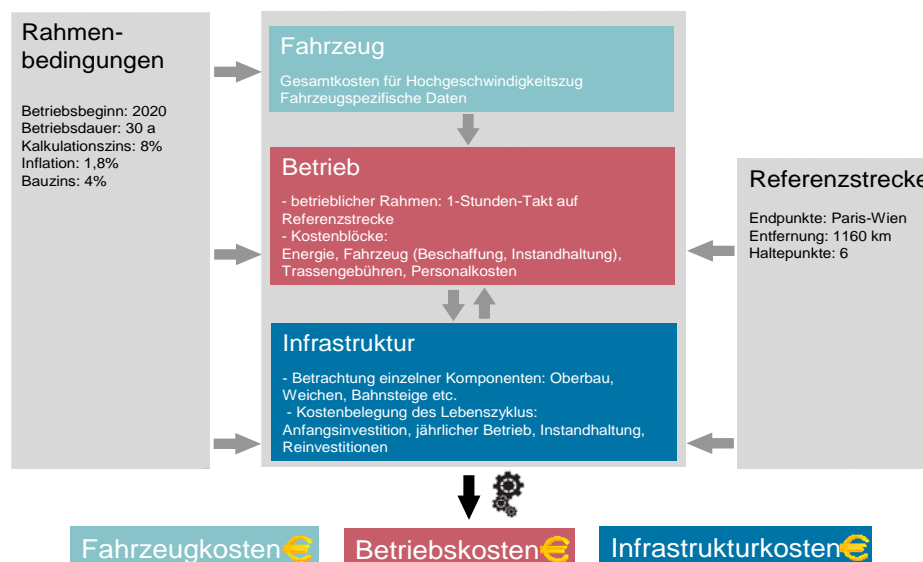


Abbildung 1: Berechnungsschema des LCC-Tools

3 Berechnungsbeispiele für den NGT im Vergleich zu einem Referenzfahrzeug

Durch verschiedene technische Neuerungen können die Betriebskosten des NGT gesenkt werden. Vorläufige Berechnungen zu Fahrzeugkosten und Betrieb haben gezeigt, dass der Anteil der Investitionskosten für den NGT höher ausfällt, als für ein Referenzfahrzeug. Die einzelnen Kostenelemente werden im weiteren Verlauf des NGT-Projekts näher betrachtet werden.

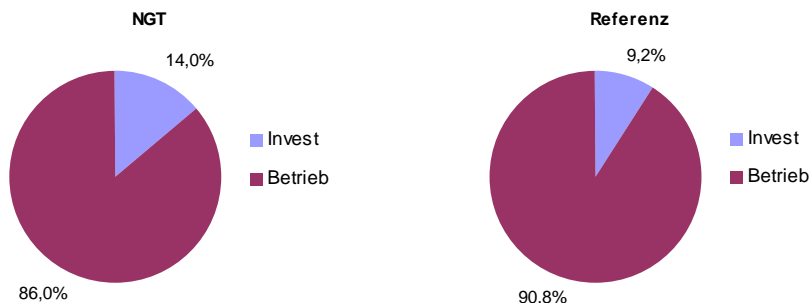


Abbildung 2: Verhältnis von Investitions- zu Betriebskosten für den NGT und ein Referenzfahrzeug

Weiterhin weist der NGT einen niedrigeren Energieverbrauch als ein heutiges, konventionelles Fahrzeug auf, was sich zusätzlich zu ökologischen Effekten positiv auf die Betriebskosten auswirkt. In Tabelle 1 sind die Energiekosten für den Betrieb des NGT und eines Referenzfahrzeugs auf dem UIC High Speed Serviceprofil aufgeführt. Die Kosten sind dabei auf einen Betriebsbeginn im Jahre 2020 und einer Betriebsdauer des Fahrzeugs von 30 Jahren bezogen. Bei der Berechnung der Gesamtkosten ist eine Inflationsrate von durchschnittlich 1,8 % berücksichtigt worden. Durch den um etwa 27 % geringeren Energieverbrauch pro Zug-km lassen sich über die gesamte Betriebsdauer Einsparungen von durchschnittlich ca. 500.000 € pro Jahr erzielen.

Tabelle 1: Energiekosten für den NGT und ein Referenzfahrzeug

	NGT		Referenz	
	2020	Ø über 30a	2020	Ø über 30a
€/ kWh	0,13	0,18	0,13	0,18
€/ Zug-km	1,87	2,45	2,54	3,33
€/ (a*Fzg)	1.120.324	1.468.425	1.525.970	2.000.110

4 Ausblick

Im weiteren Projektverlauf werden die Herstellungskosten für den NGT konkretisiert. Damit wird die Wirtschaftlichkeit der entwickelten und unter Umständen teureren Komponenten untersucht. Ein Schwerpunkt der weiteren Betrachtungen der Life Cycle Kosten des NGT liegt auf den Einsparpotenzialen bei der Fahrzeuginstandhaltung durch den Einsatz verschleißarmer Bauteile. Dies betrifft zum einen Bauteile, die mit geringeren Aufwendungen in der Betriebsphase verbunden sind. Zum anderen führt die Bauweise des NGT zu einem geringeren Verschleiß der Infrastruktur, was zusätzlich quantifiziert werden kann.

Der Aufbau des LCC-Tool ermöglicht die Anwendung für verschiedene Arten von Schienenfahrzeugen. Daher werden die vorgestellten Berechnungen nicht nur für den NGT als Hochgeschwindigkeitszug durchgeführt, sondern im Laufe des Projekts auch für Varianten des NGT, die in niedrigeren Geschwindigkeitsbereichen im Regionalverkehr eingesetzt werden können.