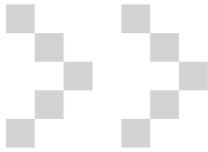


Jurecka Andreas
Jodl Hans-Georg

Berechnungsmodell für die Lebenszykluskosten von Brücken



Maßgebendes Ziel für die Erarbeitung dieser Studie war die Schaffung eines einheitlich für alle Beteiligten, wie Betreiber, potentielle Bieter und Planer, anwendbaren Werkzeugs für die Berechnung der Lebenszykluskosten und der wirtschaftlichen Ablösung einer Brücke. Neben der Entwicklung des Berechnungsmodells wurde ein einfach zu verwendendes Programm erstellt, mit dem die Berechnungen durchgeführt und die Ergebnisse und zugehörigen Grafiken dargestellt werden können. Das Programm wurde mit Jahresende 2008 fertiggestellt und dem Auftraggeber Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik (ÖVBB) in Version 1.0 übergeben.

EINLEITUNG

Der im Jahr 2005 in der Österreichischen Vereinigung für Beton und Bautechnik (ÖVBB) gegründete Arbeitskreis „Dauerhaftigkeit – Brücken“ setzte sich zum Ziel ein geeignetes Modell für die Ermittlung der Kosten einer Brücke über ihren gesamten Lebenszyklus zu erstellen. Erste Recherchen führten zu dem US-amerikanischen Programm „Life-Cycle Costing Software for the Preliminary Design of Bridges – BridgeLCC 2.0“ basierend auf dem ASTM Standard und dem Kosten-Klassifizierungssystem des „National Institutes of Standards and Technology“ (NIST). Dieses Programm ermöglicht es Planern und Erhaltern Kostenvergleiche zwischen alternativen Brückenkonstruktionen, Materialien und Erhaltungsstrategien vorzunehmen. Die Berechnungen können unter Einbeziehung von Nutzerkosten und Wahrscheinlichkeitsverteilungen erfolgen. Ebenso wurde die Ablöserichtlinie der Deutschen Bahn, die Kriterien zur Vergabeentscheidung und zur Berechnung der Lebenszykluskosten beinhaltet, analysiert, genauso wie die darauf aufbauende Ablöserichtlinie der Österreichischen Bundesbahn. Weiters wurden verschiedene Publikationen wie zum Beispiel „Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken“ von Schach, Otto, Häuple und Fritsche, sowie beste-

hende Ausarbeitungen und Programme wie das „Rechenmodell für die Ermittlung der Kosten des Funktionserhalts der Brücken an den österreichischen Bundesstraßen im Prognosezeitraum 2001-2010“ von Wicke, Kirsch, Straninger, Scharitzer oder das „Stochastische Alterungsmodell für die Kostenprognose von Brückenpopulationen“ von Petschacher erörtert.

Dem Arbeitskreis erschien keines der analysierten Modelle ohne weitere Bearbeitung zur Verwendung geeignet. Daher beschloss der Arbeitskreis unter Beachtung der vorab genannten Modelle und Rechenprogramme ein eigenständiges Modell zu erarbeiten. Es sollte ein Rechenmodell für die prognostische Ermittlung der Lebenszykluskosten einer einzelnen Brücke entwickelt und damit ein zukunftsorientiertes Instrumentarium für Investoren, Errichter und Betreiber geschaffen werden. Mit der Umsetzung wurde das Arbeitskreismitglied Prof. Jodl vom Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement der Technischen Universität Wien im Rahmen eines Forschungsprogramms mit dem Team Dipl.-Ing. Andreas Jurecka (Koordination) Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Schranz, MSc (Mathematik) und Dipl.-Ing. Dominik Dejmeck (Programmierung) beauftragt.

ANFORDERUNGEN

Ziel dieser Programmentwicklung ist es den Entscheidungsträgern ein einheitliches Werkzeug zur Berechnung und dem Vergleich von Lebenszykluskosten durch alle Lebensphasen einer Brücke zur Verfügung zu stellen. Des Weiteren soll das Modell die Möglichkeit beinhalten, externe Kosten zu berücksichtigen. Als externe Kosten werden hier Nutzerkosten, die z.B. von Sperren, Staus oder Umleitungen herrühren, verstanden. Umstände, die nicht monetär bewertbar sind, wie z.B. Lärm- oder Staubbelästigung, Belastungen durch Mehrverkehr, etc. werden in dem Modell nicht weiter berücksichtigt.

Folgende Fälle sollen von dem Rechenmodell abgedeckt werden:

- > Vergleich mehrerer Varianten (z.B.: Variantenstudien von Planern; Amtsprojekt und Varianten der Bieter)
- > Vergleich einer sanierungs- oder überholungsbedürftigen Bestandsbrücke mit einer Neubaubrücke
- > Der Fall der reinen Ablöse (Übertragung der Brücke an einen anderen Brückenerhalter, z.B. eine Grenzbrücke, Brückentausch, ...)
- > Leasing; Fall der Errichtung einer Brücke für einen Dritten, der für die Nutzung der Brücke entsprechende Leasingraten bezahlen muss

GRUNDLAGEN

Die Ablöserichtlinie der ÖBB („Richtlinie zur Berechnung der Erhaltungskosten und Ablösebeträge von Ingenieurbauwerken, Straßen und Wegen sowie Altbauten im Straßen- und Wegebau“), die auf der Ablöserichtlinie der

DB („Verordnung zur Berechnung von Ablösungsbeträgen nach dem Eisenbahnkreuzungsgesetz, dem Bundesfernstraßengesetz und dem Bundeswasserstraßengesetz (Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung – AB-BV“) basiert, stellt eine gute Basis für die Entwicklung dieser Studie dar und

wird für die Programmerstellung herangezogen.

Die Ablöserichtlinie beschreibt mit den darin zugrundegelegten Tabellen vor allem Eisenbahnbrücken. Somit müssen die Tabellen für den Anwendungsbereich der Straßenbrücken erweitert werden. Hier sind insbesondere der Belag, die Randleisten und die Übergangskonstruktionen zu nennen.

Im Zuge der Bearbeitung wurde klar, dass der Zinssatz einen großen Einfluss auf die Erhaltungsphilosophie hat. Schon eine kleine Änderung des Prozentsatzes kann ausreichen die Rentabilität eines Projektes zu gefährden, beziehungsweise eine mögliche Bieterreihung zu stürzen. Daher wurde der Prozentsatz für die Verzinsung mit 4 % p.A. für das Berechnungsmodell vom Arbeitskreis festgelegt.

Die Ablöserichtlinie beschreibt Brücken mittels dreier Brückenbestandteile: A-Unterbau, B-Rohtragwerk, C-Ausrüstung. Abhängig von der Brückenart (Unterbau und Tragwerk, rahmenartiges Tragwerk, Gewölbe, Wellstahlrohre) und dem Material werden Werte für die theoretische Nutzungsdauer sowie Prozentsätze für die jährlichen Unterhaltungskosten angegeben. Die Ausrüstungskosten werden gemäß der Ablöserichtlinie in die zwei Teile C1 mit 70 % der Ausrüstungskosten und C2 mit 30 % der Ausrüstungskosten geteilt (> siehe Tabelle 1).

ERWEITERUNG DER ABLÖSERICHTLINIE

In der Ablöserichtlinie werden Prozentsätze für die jährliche Unterhaltung angegeben die, mit den Errichtungskosten der Brücke als Basis, die Berechnung der Unterhaltungskosten erlauben. Das bedeutet, dass nach der Ablöserichtlinie höhere Errichtungskosten auch höhere Erhaltungskosten nach sich ziehen.

Bauliche Anlagen	m [a]	p [%]
1 Unterbau		
Widerlager, Flügelwände, Pfeiler, Stützen, Pylone (jeweils inkl. Gründung)		
1.1 aus Mauerwerk, Beton, Stahlbeton	110	0,5
1.2 aus Pfahlwänden, Schlitzwänden	90	0,5
1.3 aus Stahlspundwänden		
aus Stahlspundwänden ohne Korrosionsschutz	50	0,6
aus Stahlspundwänden mit Korrosionsschutz	70	0,5
1.4 aus Stahl	100	0,8
1.5 aus Holz	50	2,0
2 Überbau: Tragkonstruktionen (Balken, Platten, Bögen, Kastenquerschnitte)		
2.1 aus Stahlbeton	70	0,8
2.2 aus Spannbeton		
aus Spannbeton mit internen Spanngliedern	70	1,3
aus Spannbeton mit externen Spanngliedern	70	1,1
2.3 aus Stahl	100	1,5
2.4 aus Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen		
Stahltragwerke mit Betonplatte	70	1,2
Walzträger in Beton	100	0,8
Stahlträger in Beton mit Doppelverband (z.B. Preflexträger)	100	0,5
2.5 aus Holz		
für Geh- und Radwege ohne Schutzdach	40	2,5
für Geh- und Radwege mit Schutzdach	50	2,0
für Straßen	40	2,5
3 Rahmenartige Tragwerke (einschl. Gründungen)		
Geschlossene Rahmen, unten offene Rahmen, vergleichbare Rahmenkonstruktionen		
3.1 aus Stahlbeton	70	0,8
3.2 aus Spannbeton	70	1,2
3.3 aus Stahl	100	1,5
4 Gewölbe (einschl. Gründungen)		
4.1 Mauerwerk, Beton	130	0,6
4.2 Stahlbeton	110	0,5
5 Wellstahlrohre einschl. Flügelwände und Gründungen	70	0,8
6 Ausrüstung		
6.1 Ausrüstung C1: umfasst 30 % der gesamten Ausrüstungskosten	20	1,5
6.2 Ausrüstung C2: umfasst 70 % der gesamten Ausrüstungskosten	30	1,2

Tabelle 1: Theoretische Nutzungsdauer und Prozentsatz der jährlichen Unterhaltungskosten für Unterbau, Rohtragwerk und Ausrüstung



Um einem Unternehmer zu ermöglichen eine höhere Qualität bei verbesserten Lebensdauern oder günstigeren Unterhaltungskosten anzubieten, werden Auf- und Abschläge auf die theoretische Nutzungsdauer und die jährlichen Unterhaltungskosten für die Abweichung von Konstruktionsrichtlinien, sowie eine Übererfüllung von normativen Vorgaben vorgesehen. Als Ausgangspunkt für solche Faktoren wird die RVS 15.01.11 – „Qualitätskriterien für die Planung von Brücken“ herangezogen.

Auch wenn der Vorteil dieses Programms im Sinn der Vergleichbarkeit darin besteht, fixe Werte für die theoretische Nutzungsdauer und die jährlichen Unterhaltungskosten zugrunde zu legen, soll es trotzdem möglich sein, einzelne Werte im Einvernehmen zu ändern, wenn sich zum Beispiel grundsätzliche Änderungen in der Materialtechnologie ergeben, oder Versuchsprojekte mit neuen Werkstoffen durchgeführt werden sollen. Eine weitere Möglichkeit könnte darin bestehen, dass es den Bietern mittels Nachweis durch z.B. Langzeitversuche ermöglicht wird verbesserte Werte für die theoretische Nutzungsdauer sowie die jährli-

chen Unterhaltungskosten anzusetzen. Um weiterhin eine Vergleichbarkeit von Angeboten sicherzustellen werden Änderungen nur in definierten Bandbreiten zugelassen. Auf- und Abschläge können in dem Modell für einzelne oder alle Brückenbestandteile angewandt werden, und können entweder für die theoretische Nutzungsdauer oder die jährlichen Unterhaltungskosten oder auch für beide Komponenten aktiviert werden. Die Änderung und das Hinzufügen neuer Faktoren, beziehungsweise deren Bandbreiten, wurde in ein eigenes Programm ausgelagert. Dadurch können für eine Ausschreibung zulässige Faktoren generiert werden, die von den Bietern nicht mehr verändert werden können.

BERECHNUNGSMODELLE

Die Absicht der Programmentwicklung für die Betrachtung einer Brücke ist die Fundierung der Berechnung auf die Basis eines bekannten Wertes, der hinreichend genau vorliegt. Dies sind im Allgemeinen die reinen Baukosten. Zusammen mit den Kosten für die Verwal-

tung, laut Ablöserichtlinie in der Höhe von 10 % der Baukosten, ergeben sich die Errichtungskosten, die in weiterer Folge für die Berechnung als Grundlage verwendet werden. Die Abbruchkosten werden laut Ablöserichtlinie mit 20 % der Errichtungskosten, oder 20 % der reinen Baukosten plus 10 % für die Verwaltung angenommen. Die jährlichen Unterhaltungskosten werden mit einem in der Ablöserichtlinie definierten pauschalen Prozentsatz der Errichtungskosten berechnet und können gegebenenfalls mit Auf- oder Abschlagsfaktoren angepasst werden.

LEBENSZYKLUSMODELL

Bei dem Lebenszyklusmodell werden die Kosten des Bauwerkes für eine einmalige Lebensdauer der Brücke berechnet. Als Ergebnis werden sowohl Bar- als auch Endwert getrennt für Errichtung, Unterhaltung und Abbruch ausgegeben. Im Regelfall ist die Lebensdauer von Ausrüstungsteilen niedriger als jene von Unterbau oder Rohtragwerk. Daher sind diese Teile innerhalb der Lebensdauer der Brücke mehrfach auszutauschen. Die Entwicklung der Errichtungskosten der zu erneuernden Bauteile über die Lebensdauer der Brücke kann nicht gesichert abgeschätzt werden, daher werden diese vereinfacht als gleichbleibend angenommen. Somit werden gleiche hohe Errichtungs- und Abbruchkosten für die einzelnen Bauteile für jede Neuerrichtung des Bauteiles angesetzt.

Bei der Betrachtung einer Brücke werden ihre Bestandteile gesondert berücksichtigt. Für jeden Brückenbestandteil werden die Lebenszykluskosten nach der Endwertmethode berechnet. Um den Barwert zu erhalten wird der Endwert abgezinst. Die Lebenszykluskosten setzen sich hierbei aus den Errichtungskosten (Baukosten + Verwaltungskosten), den Kosten für die jährliche Unterhaltung sowie den Abbruchkosten zusammen.

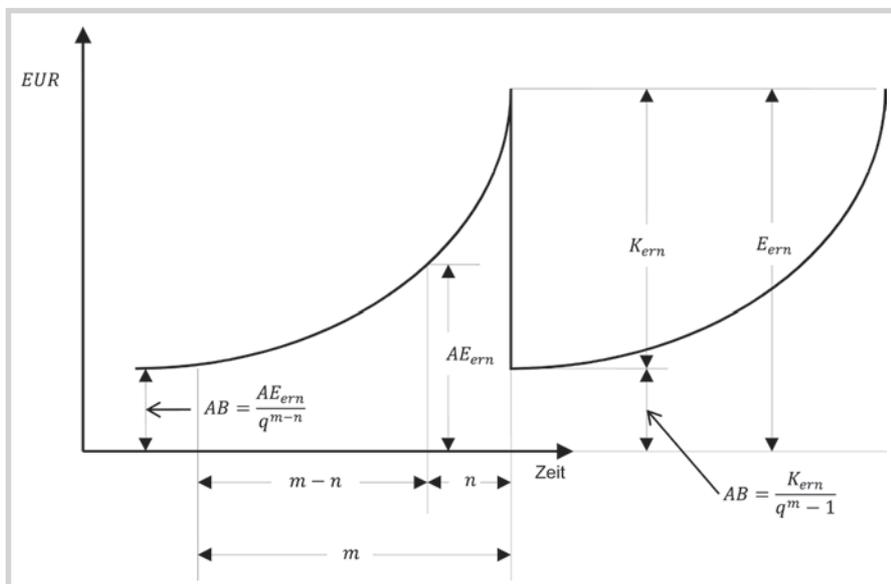


Abb. 1: Kapitalisierte Erhaltungskosten für Erneuerung

Brückenmodell

Mit dem Lebenszyklusmodell ist es möglich unterschiedliche technische Lösungen als einzelne Varianten durchzurechnen und bezüglich ihres Bar- oder Endwertes zu reihen. Kosten, die früher anfallen, werden durch die Zinsrechnung höher bewertet als Kosten, die zu einem späteren Zeitpunkt anfallen.

ABLÖSEMODELL

Die Grundlagen des Ablösemodells wurden der Ablöserichtlinie der ÖBB entnommen. Unter Ablösung wird die Ermittlung von Ablösebeträgen verstanden, die in folgenden drei Fällen auftreten können:

- > Änderung an der baulichen Anlage durch jemand anderen als den Brückenerhalter
- > Übertragung der baulichen Anlage an einen neuen Brückenerhalter (reine Ablösung)
- > Eine Kombination aus den zwei zuvor genannten Fällen

Der Ablösungsbetrag errechnet sich im Fall einer Änderung an der Brücke aus der Differenz der Erhaltungskosten für

die bauliche Anlage vor und nach der Änderung. Im Fall der reinen Ablösung entspricht der Ablösebetrag den Erhaltungskosten. Unter Erhaltungskosten versteht man im Ablösemodell sowohl die Erhaltungskosten für die laufende Unterhaltung (jährliche Unterhaltungskosten E_U) als auch die Kosten für die Erneuerung der baulichen Anlage am Ende ihrer Lebensdauer (Erhaltungskosten für Erneuerung E_{ern}). Kapitalisierte Erhaltungskosten des Ablösemodells werden durch ein vorangestelltes A gekennzeichnet. Dabei wird von einer unbegrenzten Erhaltungskette ausgegangen.

- > Bei den kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerung (AE_{ern}) wird der Anlagebetrag (AB) über die Lebensdauer der Brücke bzw. des Brückenbestandteils verzinst. Wird das Ende der Lebensdauer erreicht, verbleibt von dem kapitalisierten Anlagebetrag nach Abzug der Kosten für Erneuerung (K_{ern}) wieder der ursprüngliche Anlagebetrag (AB) und somit genügend Kapital für die nachfolgenden Erneuerungen. Eine Ablösung zu einem beliebigen Zeitpunkt

mit n Jahren Restnutzungsdauer kann über die Abzinsung der Summe aus K_{ern} und AB berechnet werden.

Die Berechnung der kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerung AE_{ern} werden für jedes Brückenbestandteil einzeln durchgeführt. Dabei werden die entsprechenden Lebensdauern m des Bestandteils und die jeweilige Restnutzungsdauer n eingesetzt. Danach werden alle kapitalisierten Erhaltungskosten für die Erneuerung AE_{ern} aufsummiert.

> siehe Abb. 1

- > Die kapitalisierten Erhaltungskosten für die jährliche Unterhaltung AE_U ergeben sich aus der Zugrundelegung der unbegrenzten Erhaltungskette. Für die Abdeckung der laufenden jährlichen Unterhaltungskosten sollen die Zinsen des eingesetzten Kapitals (kapitalisierte Unterhaltungskosten AE_U) herangezogen werden. Es ergeben sich somit aus $K_{jU} = z \cdot AE_U$ bei einem angenommenen Zinssatz von 4 % die kapitalisierten Unterhaltungskosten zu $AE_U = 25 \cdot K_{jU}$.

> siehe Abb. 2

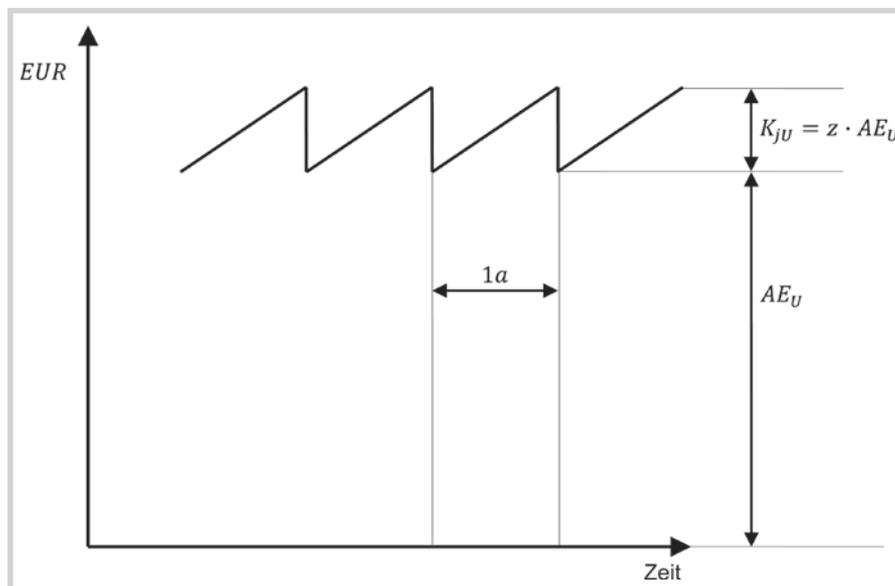


Abb. 2: Kapitalisierte Unterhaltungskosten

PROGRAMM LZKB

Für die Erstellung des Programms Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB) wurde das „Java Runtime Environment“ von Sun Microsystems als Basis herangezogen, das eine plattformunabhängige, objektorientierte Programmiersprache darstellt. Dem Alternativvorschlag Microsoft Office Excel mit der Skriptsprache „Visual Basic for Applications“ (VBA) wurde hingegen vom Arbeitskreis keine Zustimmung erteilt. Folgende Argumente führten zu der Entscheidung für Java:

- > Plattformunabhängigkeit (läuft unter Windows, Mac OS X, Linux)



- > Fertige Programmbibliotheken und Vorlagen nutzbar
- > Userinterface und Grafiken frei erstellbar, ohne Excel-spezifische Einschränkungen
- > Kostenfreier Softwareunterbau, es ist keine Microsoft Office Excel Lizenz notwendig
- > Sicherheitsaspekt: ohne Kenntnis des Quellcodes ist es nahezu unmöglich Änderungen vorzunehmen. Es ist keine Verwendung von Makros notwendig

Das Programmpaket bestehend aus dem Bericht mit dem Rechenmodell (Teil1 – Anforderungen), der Programmdokumentation (Teil2 – Handbuch), sowie einer CD mit den beiden Programmteilen Brücke.jar und Faktorgenerator.jar kann bei dem Hauptfördergeber und Herausgeber Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik (ÖVBB) käuflich erworben werden.

In dem Hauptprogramm Brücke.jar können die Lebenszykluskosten sowohl verzinst als auch unverzinst, sowie die kapitalisierten Erhaltungskosten für das Ablösmodell berechnet werden. Die Eingaben erfolgen über eine grafische Benutzeroberfläche. In einzelnen

Registerkarten können Eingabe- und Berechnungsschritte vollzogen werden und die Ergebnisse zahlenmäßig und grafisch direkt angezeigt werden, oder in Form eines PDF-Berichtes ausgegeben und gespeichert werden. Folgende Registerkarten stehen zur Verfügung:

- > **Basis:** Hier kann eine neue Brücke mit ihren grundlegenden Daten angelegt werden. Für jedes Objekt kann ein Name vergeben werden, sowie eine kurze Beschreibung der Brücke erfolgen. Weiters wird hier die Brückenkonstruktion, das Errichtungsjahr, sowie das Material angegeben. Ebenso wird die Art der Berechnung ausgewählt und angegeben ob Faktoren für Auf- und Abschläge zur Anwendung kommen sollen.
- > **Kosten:** In dieser Registerkarte werden die Baukosten der einzelnen Brückenbestandteile angegeben. Wenn erforderlich sind hier auch Kosten für Behelfszustände, Betriebserschwernisse und Kosten Dritter einzugeben.
- > **Faktoren:** Diese Registerkarte ist nur aktiv, wenn in der Registerkarte Basis die Verwendung von Faktoren aktiviert wurde. In diesem Fall können bereits in dem Zusatzprogramm Faktorge-

nerator.jar generierte Faktoren für die Berechnung ausgewählt werden.

- > **Eisenbahn:** Diese Registerkarte ist nur aktiv, wenn in der Registerkarte Basis die Verwendung von eisenbahnspezifischer Ausrüstung aktiviert wurde.
- > **Bericht:** In dieser Registerkarte können Voreinstellungen für die Erstellung der PDF-Berichte getroffen werden.
- > **Resultate:** Auf dieser Registerkarte werden die Ergebnisse der Berechnung zusammengefasst. Im obersten Bereich werden die eingegebenen Kosten der Brückenbestandteile mit den zugeordneten, eventuell durch Faktoren angepassten Werten für die jährliche Unterhaltung und theoretischen Nutzungsdauern dargestellt. Im mittleren Bereich wird die gewählte Berechnungsart mit den zugehörigen Jahreszahlen zur Kontrolle angeführt. Im unteren Bereich werden die berechneten Kosten je Brückenbestandteil sowie aufsummiert für jeweils zwei Betrachtungsjahre aufgeführt. Zusätzlich wird die Gesamtsumme noch auf die beiden Bereiche Unterhaltung und Bau/Erneuerung aufgegliedert. Zu jedem Brückenbestandteil und der Gesamtsumme können die Kostenverläufe grafisch dargestellt werden.

Lebenszykluskosten Brücken – [Donaucity1.lzkb]

LZKB Datei

Basis Kosten Faktoren Eisenbahn Bericht Resultate

Name der Brücke: Donaucity Brücke

Beschreibung: Testbrücke für die Demonstration der verschiedenen Berechnungsmöglichkeiten

Errichtung der Brücke: 2010 fixe Brückenlebensdauer:

Betrachtungsjahr: 2010 Zinssatz: 0.0 %

m[a] p[%]

Rohtragwerk:

Überbau: Tragkonstruktionen (Balken, Platten, Bögen, Kastenquerschnitte)

aus Stahlbeton 70 0.8

Unterbau:

aus Mauerwerk, Beton, Stahlbeton 110 0.5

Art der Berechnung:

Kostenverlauf unverzinst

Auf- / Abminderungsfaktoren

spezielle Ausrüstung für Eisenbahnbrücken

Abb. 3: Registerkarte Basis – Kostenverlauf unverzinst

Lebenszykluskosten Brücken – [Donaucity1.lzkb]

LZKB Datei

Basis Kosten Faktoren Eisenbahn Bericht Resultate

Unterbau: € 3.200.000

Rohtragwerk: € 5.800.000

Ausrüstung: € 2.500.000

Annahmen:

30% der Ausrüstungskosten:
theoretische Nutzungsdauer: 20 Jahre
Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten: 1,5%

70% der Ausrüstungskosten:
theoretische Nutzungsdauer: 30 Jahre
Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten: 1,2%

Zusatzkosten:

Kosten für Behelfszustände: € 0

Kosten für Betriebserschwernisse: € 0

Kosten Dritter: € 0

Abb. 4: Registerkarte Kosten – Kostenverlauf unverzinst

Brückenmodell

BEISPIELE

In weiterer Folge werden drei Beispiele für die unterschiedlichen Berechnungsmethoden durchgeführt, um die Eingabemöglichkeiten und die Ergebnisdarstellung des Programms LZKB vorzustellen.

BEISPIEL 1: DONAUCITY BRÜCKE

Für dieses Beispiel wird der Neubau einer fiktiven Brücke, hier die Donaucity-Brücke, betrachtet. Das Errichtungsjahr der Brücke ist 2010 und es sollen prognostisch die Kosten ermittelt werden. Es ist geplant den Unterbau und das Rohtragwerk der Brücke aus Stahlbeton herzustellen. Die einzusetzenden Kosten für die Brückenbestandteile sind prognostizierte Baukosten.

Kostenverlauf unverzinst

In der Registerkarte Basis werden die notwendigen Angaben gemacht. Neben dem Namen der Brücke, sowie einer Beschreibung werden hier das Errichtungsjahr der Brücke sowie Konstruktionsart und Materialien der Brücke

eingetragen. Unter Art der Berechnung wird „Kostenverlauf unverzinst“ gewählt. Faktoren werden zum jetzigen Zeitpunkt nicht verwendet.

> siehe Abb. 3

Die Errichtungskosten der Brückenbestandteile werden in der Registerkarte Kosten eingetragen. Für die prognostizierten Baukosten werden Werte wie in Abbildung 4 dargestellt eingesetzt (Unterbau: EUR 3.200.000; Rohtragwerk: EUR 5.800.000; Ausrüstung: EUR 2.500.000). Zusatzkosten werden keine angenommen.

In der Registerkarte Resultate können somit schon die Ergebnisse der Berechnung abgerufen werden. In dem oberen Bereich sind wie oben erläutert die Berechnungsgrundlagen noch einmal zusammengefasst, im unteren Bereich sind die Ergebnisse aufgliedert nach Brückenbestandteil und Betrachtungsjahr dargestellt.

> siehe Abb. 5

Über die Grafiksymbole können die Kostenverläufe grafisch dargestellt werden. Betrachtet man nun zum Beispiel den

Kostenverlauf für die Ausrüstung, so werden hier die Kosten getrennt nach Errichtung, Unterhaltung und Abbruch zum jeweiligen Zeitpunkt ihres Eintretens dargestellt. Ebenso ist eine Summenlinie eingetragen. Hier sind Erneuerungen ersichtlich, die nach der Ablöserichtlinie bei 70 % der Ausrüstungsteile nach jeweils 30 Jahren erforderlich sind, und bei 30 % der Ausrüstungsteile nach jeweils 20 Jahren. Dadurch ergeben sich Sprünge nach 20, 30 und 40 Jahren, sowie ein großer Sprung nach 60 Jahren, bei dem die gesamte Ausrüstung erneuert werden muss. In der grafischen Darstellung des Kostendiagramms sind alle Kosten der Brücke unverzinst dargestellt.

> siehe Abb. 6 & 7

Lebenszykluskosten

Um anstelle des unverzinsten Kostenverlaufes die Ergebnisse für die Berechnung nach dem Lebenszyklusmodell zu erhalten, reicht es in der Registerkarte Basis die Berechnungsart dementsprechend zu ändern. In der Registerkarte Resultate werden wieder die Ergebnisse dargestellt. Für das geplante Errichtungsjahr der Donaucity Brücke werden

	KB	KJU	m[a]
Unterbau:	€ 3.200.000	€ 16.000	110
Rohtragwerk:	€ 5.800.000	€ 46.400	70
30% Ausrüstung:	€ 750.000	€ 11.250	20
70% Ausrüstung:	€ 1.750.000	€ 21.000	30
Berechnungsmethode: Kostenverlauf unverzinst			
Errichtungsjahr:	2010		
Jahr:	2010		
Endjahr:	2080		
Betrachtungsjahr:			
	2010	2080	
Unterbau:	€ 3.520.000	€ 5.392.000	
Rohtragwerk:	€ 6.380.000	€ 11.112.800	
Ausrüstung:	€ 2.750.000	€ 13.208.250	
Zusatzkosten:	€ 0	€ 0	
Summe:	€ 12.650.000	€ 29.713.050	
Unterhaltung:	€ 0	€ 7.288.050	
Bau/Erneuerung:	€ 12.650.000	€ 22.425.000	

Abb. 5: Registerkarte Resultate – Kostenverlauf unverzinst

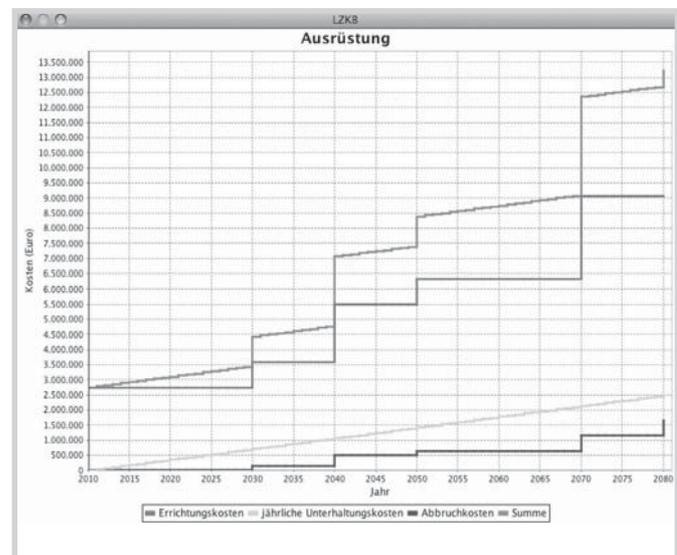


Abb. 6: Kostenverlauf Ausrüstung – Kostenverlauf unverzinst



die Barwerte der Lebenszykluskosten angegeben, für das prognostizierte Lebensende der Brücke im Jahr 2080 werden die Endwerte dargestellt.

> siehe Abb. 8

Die Lebensdauer der Brücke ergibt sich aus der theoretischen Nutzungsdauer des Tragwerkes. Auch hier können wieder die Kostenverläufe für einzelne Ausrüstungsteile sowie für die gesamte Brücke grafisch dargestellt werden. Exemplarisch sind hier wieder die Ausrüstung und die Gesamtkosten angeführt. Bei dem Lebenszyklusmodell sind jeweils zwei Summenlinien zu sehen. Die untere Summenlinie zeigt den aufgezinsten Verlauf der Kosten bis zum Endwert. Die obere Summenlinie zeigt die Rückrechnung durch Abzinsung auf den Barwert der Lebenszykluskosten.

> siehe Abb. 9 & 10

BEISPIEL 2: DONAUCITY BRÜCKE – BIETERVARIANTE

Im Zuge der Ausschreibung schlägt ein Bieter eine Variante vor. Für den Unter-

bau wird eine höhere Betondeckung als die mindestens erforderlichen 3,5 cm vorgesehen, ebenso sollen die Querschnittsformen von Unterbau und Rohtragwerk optimiert werden. Ein Faktor für die Betondeckung in einer Bandbreite von 3,5 cm bis 6,0 cm ist in dem Programm schon enthalten, der Faktor für die Querschnittsgestaltung muss erst mit dem Programm Faktorgenerator.jar erstellt werden. Für den neuen Faktor muss eine Bezeichnung angegeben werden (Querschnittsgestaltung), sowie angegeben werden für welche Brückenbestandteile er zur Anwendung gelangen soll (hier Brückenbestandteil A und B). Ebenso muss angegeben werden, ob bei dem Faktor linear interpoliert wird. Bei der Querschnittsgestaltung wird das Verhältnis von Umfang zu der Querschnittsfläche als bestimmende Größe verwendet. Verringert sich dieses Verhältnis, kann von einer höheren theoretischen Nutzungsdauer sowie von geringeren jährlichen Unterhaltungskosten ausgegangen werden. In dem Beispiel wird angenommen, dass sich bei einer Verringerung des Verhältnisses des Amtsprojektes von 4,0 auf ein neues Verhältnis der Bietervariante von 3,6 die theoretische Nutzungsdauer um 10 % erhöht und die

jährlichen Unterhaltungskosten um 10 % verringern. Der so neu generierte Faktor kann abgespeichert werden und steht für die weitere Berechnung in dem Programm Brücke.jar zur Verfügung.

> siehe Abb. 11

Für die Variante werden vom Bieter höhere Baukosten veranschlagt: Unterbau: EUR 3.250.000; Rohtragwerk: EUR 5.900.000; Ausrüstung: EUR 2.500.000. Für die Betondeckung des Unterbaues werden 6,0 cm angeboten und die Querschnittsgestaltung des Unterbaus und des Rohtragwerks wird mit einem Verhältnis von Umfang zu Querschnittsfläche von 3,6 angegeben. In Abbildung 12 wird die Bietereingabe in das Programm LZKB veranschaulicht. Hier werden auch die gemittelten Faktoren für theoretische Nutzungsdauer und jährliche Unterhaltungskosten für den Unterbau von 1,21 und 0,76, sowie für das Rohtragwerk mit 1,10 und 0,90 berechnet. Die Faktoren für die Ausrüstung bleiben unverändert.

In der Registerkarte Resultate werden die Ergebnisse der Berechnung ausgegeben.

> siehe Abb. 13

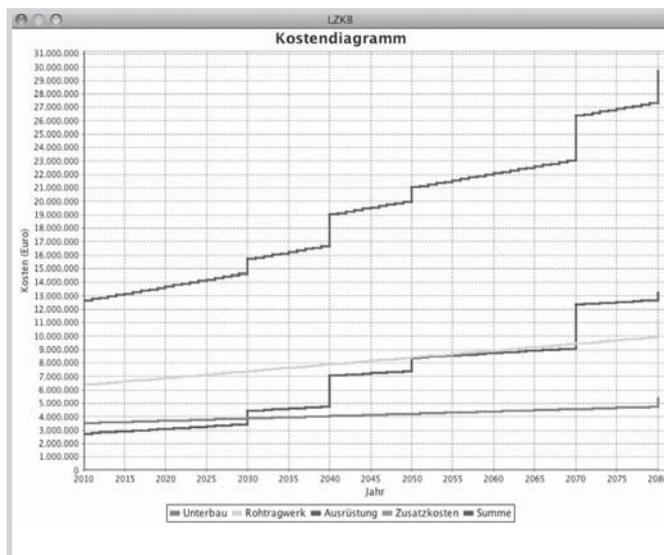


Abb. 7: Kostendiagramm – Kostenverlauf unverzinst

	KB	KJU m[a]
Unterbau:	€ 3.200.000	€ 16.000 110
Rohtragwerk:	€ 5.800.000	€ 46.400 70
30% Ausrüstung:	€ 750.000	€ 11.250 20
70% Ausrüstung:	€ 1.750.000	€ 21.000 30
Berechnungsmethode: Lebenszyklusmodell		
Errichtungsjahr:		2010
Jahr:		2010
Endjahr:		2080
Betrachtungsjahr:		
Unterbau:	€ 3.972.844	€ 61.863.609
Rohtragwerk:	€ 7.648.551	€ 119.100.310
Ausrüstung:	€ 5.270.460	€ 82.069.599
Zusatzkosten:	€ 0	€ 0
Summe:	€ 16.891.855	€ 263.033.518
Unterhaltung:	€ 2.435.720	€ 37.928.101
Bau/Erneuerung:	€ 14.456.135	€ 225.105.417

Abb. 8: Registerkarte Resultate – Lebenszykluskosten

Brückenmodell

Im Vergleich zu Abbildung 8 sind die grundlegenden Unterschiede zu erkennen:

- > Der Endwert der Bietervariante ist mit EUR 345.583.321 wesentlich höher als der Endwert des ursprünglichen Projektes mit EUR 263.033.518.
- > Der Barwert der Bietervariante ist mit EUR 16.864.973 etwas geringer als der Barwert des ursprünglichen Projektes mit EUR 16.891.855.

Der Umstand, dass in der Bietervariante der Barwert günstiger ist als in dem ursprünglichen Projekt, jedoch der Endwert wesentlich höher bedarf einer näheren Betrachtung.

Im Unterschied zu dem ursprünglichen Projekt wird die theoretische Lebensdauer der Bietervariante durch die Verknüpfung der Faktoren auf 77 Jahre ver-

längert (siehe Abbildung 13). Dadurch fallen auch für den um 7 Jahre längeren Zeitraum Unterhaltungskosten an, und die Berechnung der Endwerte erfolgt über eine Dauer von 77 im Gegensatz zu 70 Jahren.

Um dieses Problem zu umgehen, ist es möglich in der Registerkarte Basis die Option fixe Brückenlebensdauer anzuwählen

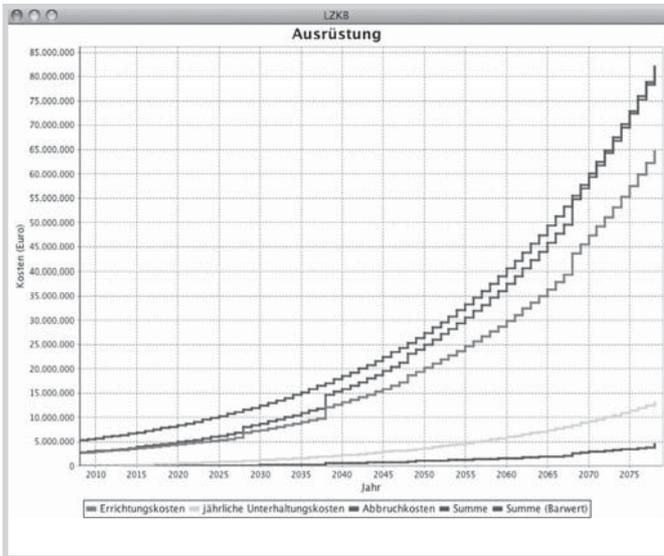


Abb. 9: Kostenverlauf Ausrüstung – Lebenszykluskosten

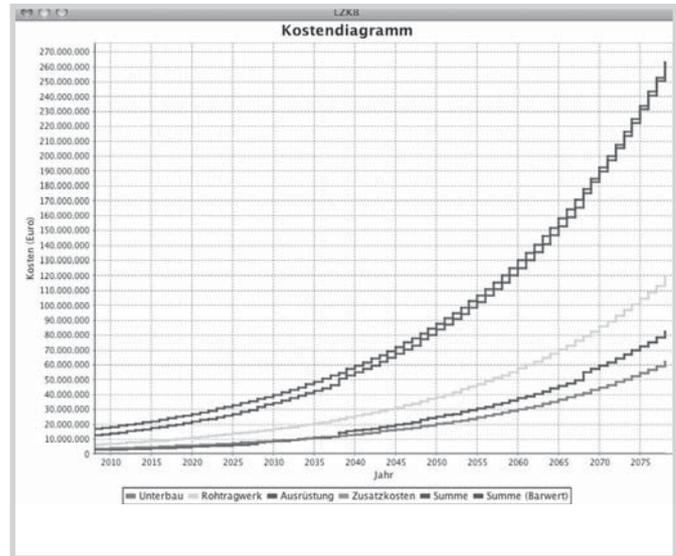


Abb. 10: Kostendiagramm – Lebenszykluskosten

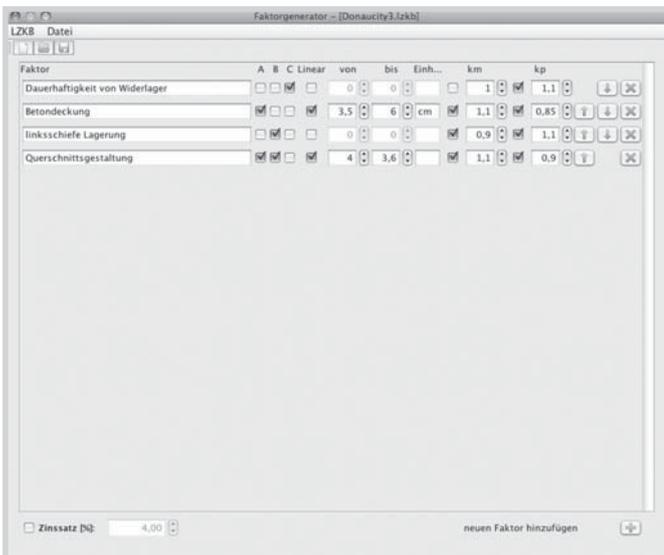


Abb. 11: Neuer Faktor Querschnittsgestaltung in Faktorgenerator.jar

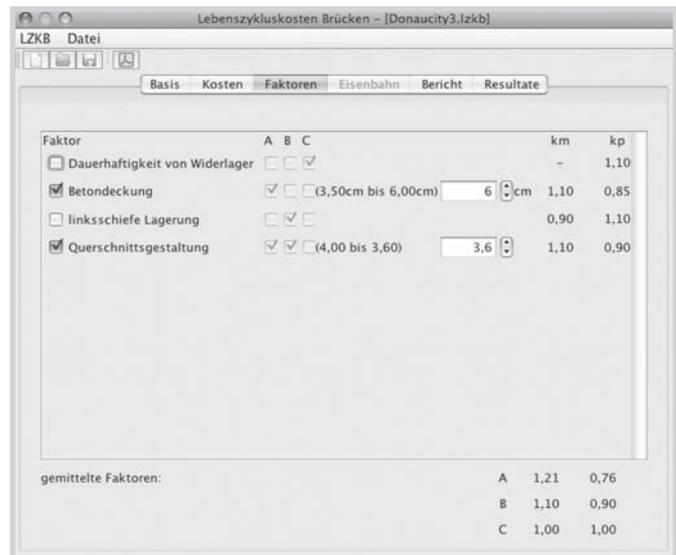


Abb. 12: Registerkarte Faktoren – Lebenszyklusmodell Bietervariante



und somit die Vergleichbarkeit der beiden Varianten zu gewährleisten. In diesem Fall kann der Betrachtungszeitraum frei gewählt werden (siehe Abbildung 3). Das Ergebnis ändert sich unter der Verwendung einer fixen Brückenlebensdauer für die Bietervariante mit 70 Jahren zu folgenden Werten.

> siehe Abb. 14

- > Der Endwert der Bietervariante ist mit EUR 262.599.388 geringer als der Endwert des ursprünglichen Projektes mit EUR 263.033.518.
- > Der Barwert der Bietervariante ist mit EUR 16.863.975 geringer als der Barwert des ursprünglichen Projektes mit EUR 16.891.855.

Somit ist die Bietervariante über die Dauer von 70 Jahren gerechnet günstiger als das ursprüngliche Projekt und besitzt eine um 7 Jahre längere theoretische Nutzungsdauer. Ist der Betrachtungszeitraum kleiner als die theoretische Nutzungsdauer der Brücke hat diese zum Ende des Betrachtungszeitraumes einen Restwert. Der Restwert ist dabei immer der Endwert. Der Barwert des Restwertes wird über den Betrachtungszeitraum abgezinst. Der Restwert für Unterbau und Rohtragwerk ergibt sich aus den linear abgeschriebenem Erreichungskosten der jeweiligen Bestandteile. Bei Ausrüstungsteilen beginnt die lineare Abschreibung mit dem Zeitpunkt der letzten Erneuerung. Dies kann im Moment noch nicht im Programm ab-

gebildet werden, lässt sich aber einfach von Hand bewerkstelligen.

> siehe Tabelle 2

Der Barwert des Restwertes ergibt sich durch Abzinsung über den Betrachtungszeitraum von 70 Jahren:

$$2.313.461 \cdot \frac{1}{1,04^{70}} = 148.569$$

Damit ergeben sich unter Berücksichtigung des Restwertes folgende Werte für Barwert und Endwert der Bietervariante:

- > Der Endwert der Bietervariante mit Berücksichtigung des Restwertes ist mit EUR 260.285.927 geringer als der Endwert des ursprünglichen Projektes mit EUR 263.033.518.
- > Der Barwert der Bietervariante ist mit EUR 16.715.406 geringer als der Barwert des ursprünglichen Projektes mit EUR 16.891.855.

Bestandteil:		Restwert (Endwert)
A Unterbau	$\frac{78-70}{78} \cdot 3.250.000 =$	333.333
B Rohtragwerk	$\frac{78-70}{78} \cdot 5.900.000 =$	605.128
C1 Ausrüstung (30 %)	$\frac{30-10}{30} \cdot 0,30 \cdot 2.500.000 =$	500.000
C2 Ausrüstung (70 %)	$\frac{20-10}{20} \cdot 0,70 \cdot 2.500.000 =$	875.000
Summe		2.313.461

Tabelle 2: Restwerte der Brückenbestandteile nach 70 Jahren

BEISPIEL 3: DONAUCITY BRÜCKE – ABLÖSE

Wird die selbe Brücke im Jahr 2020 abgelöst (Reine Ablöse ohne bauliche Tätigkeit) so steht dem neuen Brücken-

	KB	KJU	m[a]
Unterbau:	€ 3.250.000	€ 12.350	133
Rohtragwerk:	€ 5.900.000	€ 42.480	77
30% Ausrüstung:	€ 750.000	€ 11.250	20
70% Ausrüstung:	€ 1.750.000	€ 21.000	30
Berechnungsmethode: Lebenszyklusmodell			
Errichtungsjahr:			2010
Jahr:			2010
Endjahr:			2087
Betrachtungsjahr:			
	2010		2087
Unterbau:	€ 3.929.772	€ 80.525.690	
Rohtragwerk:	€ 7.658.776	€ 156.937.412	
Ausrüstung:	€ 5.276.425	€ 108.120.220	
Zusatzkosten:	€ 0	€ 0	
Summe:	€ 16.864.973	€ 345.583.321	
Unterhaltung:	€ 2.277.835	€ 46.675.547	
Bau/Erneuerung:	€ 14.587.138	€ 298.907.775	

Abb. 13: Registerkarte Resultate – Lebenszyklusmodell Bietervariante

	KB	KJU	m[a]
Unterbau:	€ 3.250.000	€ 12.350	133
Rohtragwerk:	€ 5.900.000	€ 42.480	77
30% Ausrüstung:	€ 750.000	€ 11.250	20
70% Ausrüstung:	€ 1.750.000	€ 21.000	30
Berechnungsmethode: Lebenszyklusmodell			
Errichtungsjahr:			2010
Jahr:			2010
Endjahr:			2080
Betrachtungsjahr:			
	2010		2080
Unterbau:	€ 3.934.557	€ 61.267.421	
Rohtragwerk:	€ 7.658.958	€ 119.262.368	
Ausrüstung:	€ 5.270.460	€ 82.069.599	
Zusatzkosten:	€ 0	€ 0	
Summe:	€ 16.863.975	€ 262.599.388	
Unterhaltung:	€ 2.240.914	€ 34.894.654	
Bau/Erneuerung:	€ 14.623.062	€ 227.704.734	

Abb. 14: Resultate – Lebenszyklusmodell Bietervariante 70 Jahre

Brückenmodell

erhalten genügend Kapital zu, um von den Zinserträgen in einer unbegrenzten Erhaltungskette die jährlichen Unterhaltungskosten sowie die Kosten für Erneuerung bestreiten zu können. In Abbildung 15 sind die Ergebnisse dieser Berechnung dargestellt. So beträgt der Ablösebetrag nach 10 Jahren für die Donaacity Brücke EUR 6.183.107. Im Kostendiagramm kann das angesparte Kapital getrennt nach Brückenbestandteilen abgelesen werden. Für Unterbau und Rohtragwerk muss anteilmäßig weniger Anfangskapital angelegt werden als für die Ausrüstung, da hier über die gesamte Lebensdauer der Brücke angespart werden kann. Die Ausrüstung wird nach 20 beziehungsweise 30 Jahren erneuert, daher steht hier nur ein kürzerer Zeitraum für die Aufzinsung zur Verfügung. Die vertikale Linie in Abbildung 16 kennzeichnet das Jahr der Ablöse, hier das Jahr 2020.

die Erstellung eines Berechnungsmodells für die Lebenszykluskosten von Brücken. Es sollten durch dieses Modell sowohl Varianten verglichen und die Berechnung von Ablösebeträgen ermöglicht werden können. Als Basis wurden die Werte für die theoretische Nutzungsdauer und die jährlichen Unterhaltungskosten aus der Ablöserichtlinie gewählt, da diese schon eine breite Akzeptanz bei den Brückenerhaltern hatten. Aufbauend auf die RVS 15.01.11 wurde die Einführung von Auf- und Abschlägen in der Form von Faktoren implementiert, die eine Anpassung an Einzelfälle ermöglichen.

Durch die Bemühungen, das Programm möglichst einfach zu halten, wird auf breite Akzeptanz der zukünftigen Nutzer gehofft. In einfachen Eingabemasken können grundlegende Daten der zu berechnenden Brücken eingegeben werden um sofort Ergebnisse in Zahlenform sowie grafisch zu erhalten und auch PDF-Berichte auszugeben. <<

ZUSAMMENFASSUNG

Der Arbeitskreis „Dauerhaftigkeit – Brücke“ der Österreichischen Vereinigung für Beton und Bautechnik beauftragte

	KB	KJU	m[a]
Unterbau:	€ 3.250.000	€ 12.350	133
Rohtragwerk:	€ 5.900.000	€ 42.480	77
30% Ausrüstung:	€ 750.000	€ 11.250	20
70% Ausrüstung:	€ 1.750.000	€ 21.000	30
Berechnungsmethode: Ablösemodell (immer wiederkehrende Erneuerung)			
Errichtungsjahr:			2010
Jahr:			2020
Endjahr:			2087
Betrachtungsjahr: 2020 2087			
Unterbau:	€ 665.426		-
Rohtragwerk:	€ 1.759.654		-
Ausrüstung:	€ 3.758.027		-
Zusatzkosten:	€ 0		-
Summe:	€ 6.183.107		-
Unterhaltung:	€ 2.394.700		-
Bau/Erneuerung:	€ 3.788.407		-

Abb. 15: Registerkarte Resultate – Ablösemodell

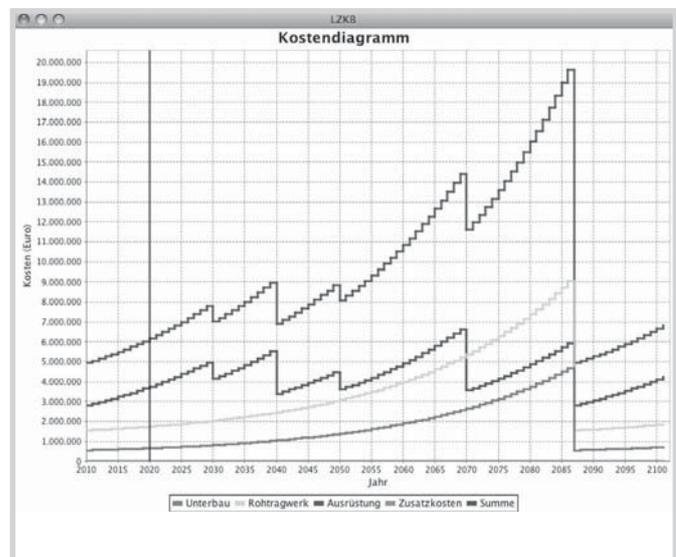


Abb. 16: Kostendiagramm – Ablösemodell