



FAKULTÄT FÜR **INFORMATIK**

Programmentwicklung für die Berechnung der Lebenszykluskosten von Brücken

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

im Rahmen des Studiums

Wirtschaftsingenieurwesen Informatik

eingereicht von

Dominik Dejmek

Matrikelnummer 0248082

an der
Fakultät für Informatik der Technischen Universität Wien

Betreuung:

Betreuer: O.Univ.Prof Dr. Hans Georg Jodl

Mitwirkung: Univ.-Ass. Dr. Christian Schranz MSc.

Wien, 21.10.2008

(Unterschrift Verfasser)

(Unterschrift Betreuer)

Abstract

The working team, „durability of bridges“ of the Austrian Association for Concrete and Construction Technology has instructed the Institute for Interdisciplinary Construction Process Management to develop a program for the calculation of the life cycle costs of bridges. The bridge has to be separated into three parts for the calculation of the life-cycle-costs: foundation, structure, equipment.

The program includes three calculation methods: cost schedule model, life cycle model, transfer fee model. The cost schedule method indicates the costs of a bridge in chronological order. Hence, it gives a good overview over time and value of the costs.

The life cycle model shows the costs including the interest rate. It calculates the cash value and the future value. So it is useful to evaluate bridges.

The transfer fee model is necessary when the ownership of the bridge changes. It has to be decided whether the bridge will be rebuilt or not.

Additional graphics illustrate the cost developments in the different models. These graphics can be included in the final report or shown directly in the program. The graphics are generated for the parts of a bridge and for the whole bridge.

The program was implemented in Java, which is object oriented and platform independent. The range and the design of the program allow a simple and extensive usage of the program, for the owner of the bridge as well for the builder of the bridge.

Kurzfassung

Der Arbeitskreis „Dauerhaftigkeit - Brücke“ der Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik hat das Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement beauftragt ein Programm zur Berechnung der Kosten einer Brücke über den gesamten Lebenszyklus zu entwickeln. Um diese Lebenszykluskosten zu berechnen, muss die Brücke in drei Brückenbestandteile unterteilt werden: Unterbau, Rohtragwerk und Ausrüstungsteile. Das Programm besitzt neben der Berechnung der Lebenszykluskosten auch eine Darstellung des unverzinsten Kostenverlaufs sowie eine Berechnung von Ablösekosten.

Mit der Methode *Kostenverlauf unverzinst* kann die Entstehung der Kosten (Errichtungskosten, jährliche Unterhaltskosten, Abbruchkosten) chronologisch dargestellt werden. Dies bietet eine gute Übersicht über Zeitpunkt und Höhe anfallender Kosten.

Beim *Lebenszyklusmodell* hingegen werden die verzinsten Kosten dargestellt. Es werden Bar- und Endwert der Lebenszykluskosten berechnet. Somit kann die Brücke bewertet und mit anderen Brückenvarianten verglichen werden. Als Grundlage wird der unverzinsten Kostenverlauf herangezogen und zusätzlich mit 4% verzinst.

Das *Ablösemodell* wird angewandt, wenn eine Brücke den Besitzer wechseln soll. Dabei ist eine Ablöse fällig. Hierbei ist zu unterscheiden, ob die Brücke am Ende der Lebensdauer wieder neu hergestellt wird oder nicht.

Zusätzliche Grafiken illustrieren die Verläufe der einzelnen Berechnungsmethoden. Diese Grafiken können sowohl im Endbericht als auch direkt im Programm angezeigt werden. Sie sind für die einzelnen Brückenbestandteile sowie für die Summe dieser erstellbar.

Das Programm wurde in der objektorientierten und plattformunabhängigen Programmiersprache Java implementiert. Es läuft mit Hilfe der Java Runtime Environment auf nahezu jeder Plattform. Der Umfang sowie das Design des Programms ermöglichen eine einfache und weitreichende Verwendung des Programms, sowohl für Auftraggeber als auch für Brückenbauer auf viele Jahre hinaus.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Einführung	3
2.1	Java	3
2.1.1	Java Package: JFreeChart	3
2.1.2	Java Package: iText	5
2.1.3	Java Package: XML-Beans	5
2.1.4	Java Package: FormLayout	7
2.1.5	Entwicklungsumgebung: Eclipse	8
2.1.6	GUI Editor: Jigloo	8
2.2	Ingenieurwesen - Brücke und deren Bestandteile	9
2.3	Wirtschaft - notwendige Begriffe und Berechnungsmodelle	12
2.3.1	Zinseszinsrechnung	12
2.3.2	Kosten	13
2.3.3	Kostenverlauf unverzinst	15
2.3.4	Lebenszyklusmodell	16
2.3.5	Ablösemodell - immer wiederkehrende Erneuerung	18
2.3.6	Ablösemodell - nicht wiederkehrende Erneuerung	21
3	Programme	24
3.1	LZKB-Programm	24
3.1.1	Tab: Basis	25
3.1.2	Tab: Kosten	26
3.1.3	Tab: Faktoren	27
3.1.4	Tab: Eisenbahn	28
3.1.5	Tab: Bericht	29
3.1.6	Tab: Resultate	30
3.2	Faktorgenerator	31
4	Implementation	33
4.1	LZKB-Programm <i>bruecke.jar</i>	33
4.1.1	Arbeitsklassen	33
4.1.2	Userinterface-Klassen	38
4.2	Faktorengenerator <i>faktorgenerator.jar</i>	43
4.2.1	Arbeitsklassen	43
4.2.2	Userinterface-Klassen	44
4.3	Dateien für grundlegende Einstellungen	45

5	Ergebnisse	50
5.1	Beispiel 1: Kostenverlauf unverzinst	50
5.2	Beispiel 2: Lebenszyklusmodell	53
5.3	Beispiel 3: Ablösemodell	55
5.4	Beispiel 4: Kostenverlauf unverzinst mit Auf- und Abminde- rungsfaktoren	58
5.5	Beispiel 5: Änderung der Faktoren	61
6	Zusammenfassung	62
	Literaturverzeichnis	64

Kapitel 1

Einleitung

Der am 04. Oktober 2005 gegründete Arbeitskreis „Dauerhaftigkeit - Brücke“ der Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik (kurz Betonverein) bestehend aus Vertretern von ASFINAG, Stadt Wien - Wiener Brückenbau und Grundbau (MA29), ÖBB Infrastruktur, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) und der Bauwirtschaft initiierte die Entwicklung eines Programms zur Berechnung der Kosten einer Brücke über den gesamten Lebenszyklus. Diese Aufgabe wurde vom Leiter des Instituts für interdisziplinäres Bauprozessmanagement Professor Jodl übernommen. Im Zuge dieser Arbeit entstand diese Diplomarbeit. Die Anforderungen an das Programm zur Berechnung der Lebenszykluskosten von Brücken sind: leichte Bedienbarkeit und Ausgabe hilfreicher Ergebnisse in Form eines Endberichts.

Das Programm soll unterstützend bei unterschiedlichen Fällen sein: Ablösung einer Brücke zwischen zwei Vertragspartnern, Vergleich mehrerer Brückenbauvarianten, Entscheidung der Instandsetzung einer sanierungsbedürftigen Bestandsbrücke oder Neubau dieser Brücke. Derzeit erfolgt häufig die Entscheidung auf Grund der Errichtungskosten. Mit dem Programm können auch die zukünftigen Kosten miteinbezogen werden, daher ist es möglich die Lebenszykluskosten als Entscheidungsgrundlage mit heranzuziehen.

Mit Berücksichtigung der zukünftigen Kosten bei Brücken beschäftigte sich Wicke et al mit dem „Kostenmodell für den Funktionserhalt von Straßenbrücken“ [10]. Spezifischer auf die Lebenszykluskosten von Brücken gingen Petschacher [9] und Schach [14] et al ein. Dabei werden neben den Errichtungskosten der Brücke auch die jährlichen Unterhaltskosten, sowie die Austauschkosten für die Ausrüstungsteile und schlussendlich die Abbruchkosten berücksichtigt. Um die Lebenszykluskosten zu erhalten, müssen die entstandenen Kosten über die Lebensdauer verzinst werden. Ein variable Zinssatz

hat einen großen Einfluss auf die Lebenszykluskostenentwicklung. Da dieser aber nicht über die gesamte Lebensdauer der Brücke vorhersehbar ist, wurde ein vereinfachend (in Absprache mit den Industriepartnern) ein fixer Zinssatz von 4% gewählt. Zur Berechnung des Ablösewertes einer Brücke wurde von den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) die Ablöserichtlinie [17] herausgegeben. Diese beruht auf der Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung der Deutschen Bahn (DB). Diese bietet auch Ansätze für die jährlichen Unterhaltskosten, sowie für die Lebensdauern von vielen Brückenbestandteilen. In den vereinigten Staaten von Amerika wurde ein ähnliches Programm mit dem Namen BridgeLCC 2.0 [11] entwickelt, das ein Kosten-Klassifizierungssystem für Benutzerkosten benutzt.

Als Programmiergrundlage steht ursprünglich Microsoft Excel in Verbindung mit Visual Basic for Applications (VBA) und die Programmiersprache Java [16] zur Auswahl. Excel/VBA ist eine weit verbreitete, bekannte Software ist, die für viele Benutzer eine vertraute Umgebung schafft. Die plattformunabhängige Programmiersprache Java läuft hingegen zu Excel/VBA auf nahezu allen Betriebssystemen. Größter Vorteil von Java ist, dass es eine Vielzahl von fertigen Programmbibliotheken gibt, die frei zugänglich und verwendbar sind. Auf Grund der komplexen Aufgabe und der Plattformunabhängigkeit wurde Java als Grundlage gewählt. Näheres zu den Vorteilen von Java und deren Programmbibliotheken wird in Kapitel 2 erläutert.

Kapitel 2

Einführung

Dieses Kapitel erläutert die verwendeten Java Software Bibliotheken und die Entwicklungsumgebung Eclipse sowie die wirtschaftlichen Definitionen und verwendeten Berechnungsmethoden.

2.1 Java

Java ist eine plattformunabhängige, objektorientierte Programmiersprache. Sie wird häufig verwendet, wenn die damit erstellte Software unter verschiedenen Betriebssystemen lauffähig sein soll, wie z.B. Windows, OSX und Linux. Um eine Java-Applikation unter einem beliebigen Betriebssystem starten zu können, muss ein Java Runtime Environment (JRE) installiert sein. Dieses JRE stellt die nötigen Ressourcen zur Verfügung, um ein individuelles Java-Programm ohne Rücksicht auf das Betriebssystem laufen zu lassen.

Java besitzt den immensen Vorteil, dass eine Vielzahl von bestehenden Programmbibliotheken zur Verfügung stehen. Außerdem finden sich benutzerfreundliche Programmierumgebungen, die sich mit Syntaxhighlighting, Quellcodevervollständigung, Code-Faltung und diversen grafischen Hilfsplugins auszeichnen. In den folgenden Unterkapiteln werden nun die verwendeten Programmbibliotheken und Programmierumgebungen mit den grafischen Plugins vorgestellt.

2.1.1 Java Package: JFreeChart

JFreeChart ist eine freie Java Bibliothek, die Softwareentwicklern das Erstellen von professionellen Diagrammen innerhalb von Java-Applikationen ermöglichen



Abbildung 2.1: Java Logo

soll. Die Bibliothek ist eine Programmierschnittstelle (Application Programming Interface, API) die einen einfacheren und einheitlichen Umgang mit der Erstellung der Diagramme ermöglicht.

JFreeChart ist in der bei dieser Arbeit verwendeten Version 1.0.9 [12] sehr ausgereift und enthält folgende Features:

- konsistente und gut dokumentierte Schnittstelle, die eine große Anzahl von Diagrammvariationen bereitstellt
- flexibles, leicht erweiterbares Design
- eine Vielzahl von Ausgabemöglichkeiten, z.B. als Swing-Komponenten, Bildformate wie PNG und JPG sowie Vektorgrafiken wie EPS, PDF und SVG

JFreeChart steht unter LGPL (GNU Lesser General Public Licence) und ist somit eine freie Software, welche in selbst hergestellter Software verwendet werden darf. Außerdem wird von der Firma Object Refinery Limited ein Developer Guide Dokument bereitgestellt, welches als PDF-Dokument erworben werden kann [4].

Geschichte Das JFreeChart Projekt wurde im Februar 2000 von David Gilbert ins Leben gerufen [13]. Da es eine sehr beliebte Open Source Software ist, sind mittlerweile ca. 40.000 bis 50.000 Programmierer am Entwicklungs- und Weiterentwicklungsprozess beteiligt. Das Projekt wird von David Gilbert mit Hilfe von diversen Communities verwaltet. Fertige Versionen werden über SourceForge veröffentlicht und verteilt [15].

Das JFreeChart Projekt finanziert sich hauptsächlich von der Firma Object Refinery Ltd, die eine umfangreiche Dokumentation mit Programmierbeispielen als PDF-Dokument verkauft. Hierbei handelt es sich um die private Firma von David Gilbert, die sich in Großbritannien befindet. Die Firma hat sich auf innovative Java Software im Berichtswesen spezialisiert.

2.1.2 Java Package: iText

iText ist eine freie Java-Bibliothek, die Softwareentwicklern das Generieren von PDF-Dokumenten erleichtern soll [3]. Es bietet die Möglichkeit dynamisch PDFs zu generieren und zu manipulieren. iText kann für folgende Aktivitäten genutzt werden:

- Darstellung von PDFs im Browser
- dynamische Generation von PDFs aus XML Dateien
- Hinzufügen von Seitenzahlen, Wasserzeichen, ...
- Zerlegen, Zusammenfügen und Manipulieren von PDF Dokumente
- automatisches Ausfüllen von Formularen
- Hinzufügen einer digitalen Signatur
- ... und vieles mehr

iText benötigt den Java Development Kit (JDK) 1.4 oder eine spätere Version. Um es zu verwenden, müssen nur die Programm-Bibliotheken im Classpath angegeben und im Javacode mittels *include* eingebunden werden. Außerdem beschreibt Bruno Lowagie in seinem Buch „iText in Action: Creating and Manipulation PDF“ [2] die Java-Bibliothek ausführlich mit Beispielen. Folgender Code zeigt ein kleines Beispiel, das eine PDF-Datei mit dem Namen *itext.pdf* generiert, in dem der Text *Hallo* steht:

```
import java.io.*;
import com.lowagie.text.pdf.*;
import com.lowagie.text.*;
public class HelloWorldIText
{
    public static void main(String arg[]) throws
        Exception {
        Document document=new Document();
        PdfWriter.getInstance(document,new
            FileOutputStream("itext.pdf"));
        document.open();
        document.add(new Paragraph("Hallo"));
        document.close();
    }
}
```

2.1.3 Java Package: XML-Beans

XMLBeans [1] ist eine freie Java-Bibliothek, die eine einfache Handhabung von XML-Dokumenten erlaubt. Ursprüngliche Klassenbibliotheken zur XML-Handhabung sind z.B. SAX und JAXB, welche aber einen sehr maschinellen

Ansatz der Datenmanipulation haben. XMLBeans ermöglichen den intuitiveren Zugriff bzw. die Manipulation der XML-Daten.

XML XML steht für Extensible Markup Language und dient zur Darstellung von Daten in einer hierarchischen Struktur. Ein XML Dokument besteht aus Tags, welche in einer Baumstruktur angeordnet sind. Ausgehend vom Root-Tag können beliebig viele Subtags verwendet werden. Jeder Tag kann beliebig viele Subtags besitzen. Diese Tags können wiederum beliebig viele Attribute besitzen. XML ist jedoch nicht komplett beliebig gestaltbar und besitzt einige Richtlinien. So muss jeder geöffnete Tag, danach wieder geschlossen werden. Weiters wurde ein XML-Schema eingeführt, um die gewünschten Datenhierarchien zu definieren. Ein XML-Schema besitzt somit Richtlinien, wie das geforderte XML-Dokument auszusehen hat. Erkennen kann man Schema-Dateien an der Endung *.xsd*. Auf Grundlage dieser Schema kann das XML-Dokument bewertet werden. Besitzt es die korrekten Eigenschaften, so ist es „well-formed“, ansonsten „not-well-formed“.

Folgendes zeigt ein XML-Dokument:

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<artikel>
  <titel>Der Titel</titel>
  <author>Dominik Dejmek</author>
  <inhalt>Der Inhalt</inhalt>
</artikel>
```

Folgender Code sowie Abbildung 2.2 zeigt die zu Grunde liegende XML-Schema Datei:

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
  >
  <xs:element name="artikel">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element name="titel" type="xs:string"/>
        <xs:element name="author" type="xs:string"/>
        <xs:element name="inhalt" type="xs:string"/>
      </xs:sequence>
    </xs:complexType>
  </xs:element>
</xs:schema>
```

Um mit XML-Beans arbeiten zu können, muss zuvor ein XML-Schema für jede gewünschte Datenstruktur erstellt werden. Aus diesem Schema wird anschließend mit dem XML-Beans Compiler ein jar-Archiv mit den benötigten

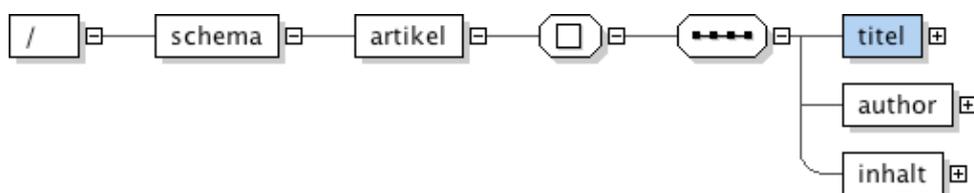


Abbildung 2.2: Beispiel XML-Schema

Klassen generiert, mit dem es möglich ist, XML-Dateien auf Grundlage ihres Schemas zu ändern, lesen oder generieren.

Zum vorigem Beispiel passend, würde der XML-Beans Compiler ein jar-Archiv mit folgenden Klassen erstellen:

- **ArtikelDocument.class:** abstrakte Interfaceklasse
- **ArtikelDocumentImpl.class:** Implementierung der Interfaceklasse

Für jeden in der Schema-Datei definierten, komplexen Datentyp wird eine eigene abstrakte Interfaceklasse mit der dazugehörigen Implementierungsklasse angelegt.

2.1.4 Java Package: FormLayout

FormLayout [8] ist ein freies Java Package zur Gestaltung eines Java-Userinterfaces unter Zuhilfenahme eines individuell einrichtbaren Rasters.

Folgender Programmcodausschnitt zeigt die statische Methode, wie der Raster, aufgeteilt in Spalten und Zeilen, generiert wird, wobei die erste Zeile die Spalten und die zweite Zeile die Zeilen angibt:

```
FormLayout thisLayout = new FormLayout(
    "5dlu, min(p;120dlu):grow, 5dlu, 100dlu, 5dlu",
    "5dlu, p, 5dlu, p, 5dlu, p, 5dlu, 100dlu, 5dlu");
this.setLayout(thisLayout);
```

- *dlu* steht für Dialog Units und ist eine Größeneinheit, die sich an der am Computersystem eingestellten, bevorzugten Schriftgröße orientiert.
- *min(p;120dlu)* bedeutet, dass eine Größe von mindestens 120dlu gefordert ist.
- *grow* wird verwendet, um bei Veränderung der Größe des Fensters die Spalten bzw. Zeilen zu kennzeichnen, welche die Größe mitändern sollen.
- *p* steht für preferred und bietet soviel Platz wie benötigt wird.

Nach dieser Initialisierung können nun die grafischen Objekte z.B. auf folgende Art eingefügt werden:

```
this.add(new JButton(), new CellConstraints("2,2,1,1,
    default,default"));
```

Dieser Programmausschnitt fügt nun einen neuen *JButton()* in die Spalte 2, Zeile 2 ein. Die beiden 1 bedeuten, dass die Felder über eine Spaltenbreite bzw. eine Zeilenhöhe geht. Die beiden default-Werte betreffen die horizontale bzw. vertikale Ausrichtung innerhalb der Zelle.

Natürlich kann das *FormLayout* auch dynamisch generiert werden. Hierbei können, z.B. wie im anschließenden Beispiel, die Spalten definiert und die Zeilen dynamisch geniert werden. Mit *append* können Objekte hinzugefügt werden und *setColumn* bzw. *nextLine* dienen zur Navigation im Raster.

```
FormLayout faktorenLayout = new FormLayout("p:grow,0
    dlu,30dlu,0dlu,30dlu,0dlu","");
DefaultFormBuilder builder = new DefaultFormBuilder(
    faktorenLayout);
.....
builder.append(new JButton());
.....
builder.setColumn(builder.getColumn()+2);
.....
builder.nextLine();
```

2.1.5 Entwicklungsumgebung: Eclipse

Eclipse ist eine freie und sehr beliebte Java Entwicklungsumgebung mit einer großen Anzahl an Erweiterungsmöglichkeiten [5]. Die Möglichkeit der individuellen Erweiterung ist einer der Hauptgründe, warum Eclipse so populär geworden ist. Außerdem ist die Entwicklungsumgebung für nahezu jede Plattform zu haben, das auch im gleichen Sinne, wie Java selbst plattformunabhängig zu sein, ist. Das Eclipse Projekt wurde 2001 von IBM ins Leben gerufen und damals von einigen wenigen Softwareentwickler unterstützt. Die Abbildung 2.3 zeigt einen Screenshot der Entwicklungsumgebung.

2.1.6 GUI Editor: Jigloo

Eine Erweiterung, die bei diesem Projekt sehr hilfreich war, ist der Editor für grafische Userinterfaces (GUI) Jigloo [7]. Er bietet eine große Erleichterung, um schnell, einfach und übersichtlich GUIs zu implementieren bzw. zu verändern. Die Stärke besteht darin, dass auch bestehender Code, der nicht von Jigloo stammt, angezeigt und verändert werden kann.

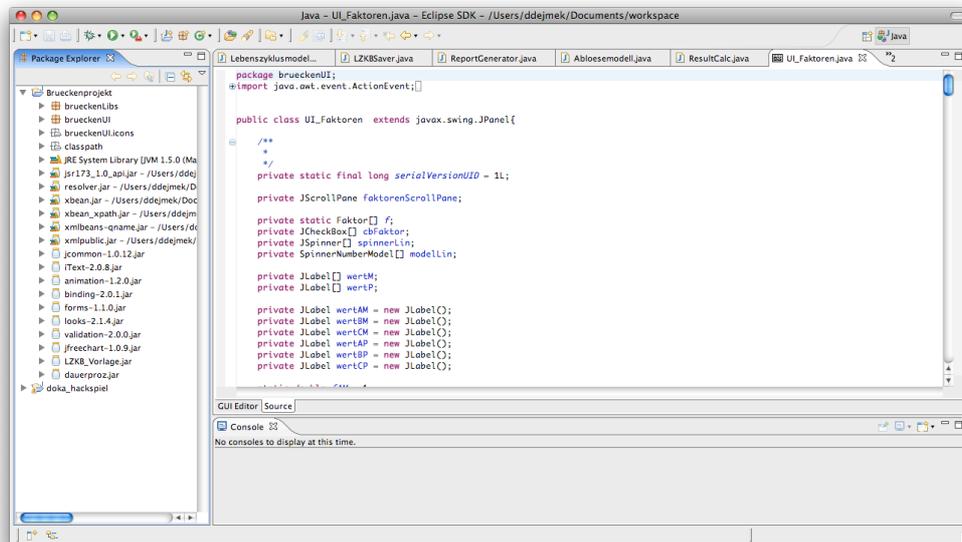


Abbildung 2.3: Entwicklungsumgebung Eclipse

2.2 Ingenieurwesen - Brücke und deren Bestandteile

Eine Brücke kann grob in drei Kategorien von Bestandteilen eingeordnet werden:

- **Unterbau** Als Unterbau kommen Widerlager inkl. Schlepplatten, Flügelwände, Pfeiler, Stützen und Pylonen einschließlich Gründungen (Fundamente) in Frage.
- **Rohtragwerk** Das Rohtragwerk umfasst alle Tragkonstruktionen einer Brücke, die einen Unterbau benötigen, z.B. Balken, Platten, Bögen und Kastenquerschnitte.
- **Ausrüstung** Zur Gruppe der Ausrüstung gehören u.a. Lager, Fahrbahnübergänge, Randbalken (inkl. Leitschienen und Geländer), Abdichtung des Tragwerkes mit Schutzschicht und Belag, sowie die Brückenentwässerung und sonstige Ausrüstungsteile. Die Ausrüstungsteile sind von der Funktion der Brücke (Fußgängerbrücke, Strassenbrücke, Eisenbahnbrücke) abhängig. Sie besitzen im Regelfall eine wesentlich geringere Lebensdauer als Unterbau und Rohtragwerk. Daher müssen sie während der Lebensdauer der Brücke mehrmals erneuert werden.

Eine Brücke kann auf verschiedene Arten aufgebaut sein:

- **Brücken mit Unterbau und Überbau (Rohtragwerk)** Diese können verschiedene Lebensdauer und verschiedene Prozentsätze für jährliche Unterhaltskosten haben.
- **Rahmenartige Bauwerke** Rohtragwerk und Unterbau bilden eine Einheit und besitzen somit eine Lebensdauer.
- **Gewölbe** Unterbau und Rohtragwerk bilden ebenfalls eine Einheit und besitzen somit ebenfalls nur eine Lebensdauer.

Für jeden speziellen Bautyp gibt es verschiedene Unterkategorien. Hierbei weisen alle Varianten eine unterschiedliche Lebensdauer und unterschiedliche, jährliche Unterhaltskosten auf. Tabelle 2.1 zeigt gemittelte Erfahrungswerte für die Brückenbestandteile und Tabelle 2.2 die einiger Ausrüstungsteile von Eisenbahnbrücken, welche die Ablöserichtlinie der ÖBB [17] als Grundlage verwenden.

Die angeführte Werte bedingen eine vordefinierte Ausführung der Brückenbestandteile. Um auch abweichende Ausführungen berücksichtigen zu können, werden zusätzliche Faktoren eingeführt. Verwendet man bessere Brückenbestandteile, erhöht das einerseits die Baukosten, jedoch wird die Lebensdauer damit auch erhöht und die Wartungskosten gesenkt. Gleiches gilt auch für die Verwendung von schlechteren Bauteilen, die zwar zu niedrigeren Baukosten führt, jedoch meistens höhere Wartungskosten und eine niedrigere Lebensdauer verursacht. Generell kann man aber nicht sagen, dass die Verwendung von besseren bzw. schlechteren Bauteilen bei den Kosten der Brücke immer gleiche Auswirkungen hat, da die jährlichen Unterhaltskosten auch einen wesentlichen Kostenteil verursachen.

Als Beispiel wird ein Bauteil mit Errichtungskosten von 100.000,-, jährlichen Unterhaltskosten von 1,2% der Errichtungskosten, einer jährlichen Verzinsung von 4% und einer Lebensdauer von 70 Jahren betrachtet. Die jährlichen Unterhaltskosten belaufen sich somit auf 1.200,- und die gesamten Unterhaltskosten in 70 Jahre auf 84.000,- (unverzinst). Der verzinste Endwert jedoch beläuft sich auf 437.149,- (die hier angewendeten Berechnungsmethoden „Kostenverlauf unverzinst“ und „Lebenszyklusmodell“ werden im Kapitel 2.3 näher erläutert). Somit muss immer der gesamte Kostenverlauf der Brücke beobachtet werden, um daraus Schlussfolgerungen ziehen zu können.

In [6] ist als Beispiel für einen zusätzlichen Faktor die Betondeckung genannt. Eine Erhöhung der Betondeckung wirkt sich positiv auf die Dauerhaftigkeit von Betonbrücken aus, sie führt aber auch zu einer Erhöhung der Kosten. Daher wird für eine Erhöhung der Mindestbetondeckung von 3,5 cm ein Korrekturfaktor eingeführt. Es werden also für 3,5 cm als Normmass und für 6 cm folgende Korrekturfaktoren angenommen:

- bei 3,5 cm: $k_m = 1,00$ und $k_p = 1,00$
- bei 6 cm: $k_m = 1,10$ und $k_p = 0,85$

Bauliche Anlage		m [a]	p [%]
1	Unterbau Widerlager, Flügelwände, Pfeiler, Stützen, Pylonen (je- weils inkl. Gründung)		
	1.1 aus Mauerwerk, Beton, Stahlbeton	110	0,5
	1.2 aus Pfahlwänden, Schlitzwänden	90	0,5
	1.3.1 aus Stahlspundwänden ohne Korrosionsschutz	50	0,6
	1.3.2 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
	2.2.1 aus Spannbeton mit internen Spanngliedern	70	1,3
	2.2.2 aus Spannbeton mit externen Spanngliedern	70	1,1
	2.3 aus Stahl	100	1,5
	2.4.1 aus Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen: Stahl- träger mit Betonplatte	70	1,2
	2.4.2 aus Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen: Wälzträger in Beton	100	0,8
	2.4.3 aus Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen: Stahl- träger in Beton mit Doppelverband (z.B. Preflexträger)	100	0,5
	2.5.1 aus Holz für Geh- und Radwege ohne Schutzdach	40	2,5
	2.5.2 aus Holz für Geh- und Radwege mit Schutzdach	50	2,0
	2.5.3 für Straßen	40	2,5
3	Rahmenartige Tragwerke (einschl. Gründungen) Geschlossene Rahmen, unten offene Rahmen, vergleich- bare 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 Ausrüstung	20	1,5
	6.2 Ausrüstung C2: umfasst 70% der gesamten Ausrüstung	30	1,2

Tabelle 2.1: Theoretische Nutzungsdauer und jährliche Unterhaltskosten für sonstige Bauwerksteile von Eisenbahnbrücken [6]

Bauliche Anlage		m [a]	p [%]
1	Schutzerdungsanlagen Kontaktschienen, Bügelschlagschienen, Erdleitungen	30	5,0
2	Fahrleitungseinrichtungen und sonstige Verankerungen v. Leitungen an Straßenbrücken, Leitungen der Bahn (einschl. Fahrdrahtaufhänger)	30	5,0
3	Berührungsschutzanlagen		
	3.1 Schutzplatten aus Stahlbeton	30	0,8
	3.2 Schutzplatten aus Stahl	30	1,2
	3.3 Aufhöhung von Geländern u. lückenlose Verkleidungen der Geländerteile	30	1,5
4	Entgleisungsschutz	20	1,0

Tabelle 2.2: Theoretische Nutzungsdauer und jährliche Unterhaltskosten von einigen Ausrüstungsteilen von Eisenbahnbrücken [6]

Dazwischen wird linear interpoliert. Dabei stellt k_m einen Korrekturfaktor für die Lebensdauer des Brückenbestandteils und k_p einen für den Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten dar.

Hat man nun z.B. einen Unterbau aus Stahlbeton mit einer Lebensdauer von 110 Jahren und einem Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten von 0,5%, so würden sich diese Werte bei einer Betondeckung von 6 cm auf $1,10 \cdot 110 = 121$ Jahre und $0,85 \cdot 0,5 = 0,43\%$ ändern. Dies entspricht einer Erhöhung der Lebensdauer von 10% und einer Senkung der jährlichen Unterhaltskosten von 15%.

2.3 Wirtschaft - notwendige Begriffe und Berechnungsmodelle

In diesem Kapitel wird näher auf die wirtschaftlichen Begriffe und Berechnungsarten eingegangen, die in diesem Projekt verwendet wurden (siehe Jodl et al [6]).

2.3.1 Zinseszinsrechnung

Die Zinseszinsrechnung kommt im Alltag u.a. bei Sparbüchern, Girokonten, Krediten und ähnlichen Bankgeschäften zum Einsatz. Zinsen werden normalerweise als Prozentsatz pro Jahr definiert. Somit erhöht sich ein Kapital von Euro 100,- bei einem Zinssatz von 5% nach einem Jahr auf Euro 105,-. Nach dem zweiten Jahr kommt nun die Zinseszinsrechnung zu tragen, da sich das Grundkapital von Euro 100,- auf Euro 105,- geändert hat. Somit hat man nach

dem zweitem Jahr Euro 110,25. Man kann nun diese rekursive Berechnung bis zum gewünschten Jahr weiterführen. Die Zinseszinsrechnung bietet die direkte Berechnung:

$$\text{Endkapital} = \text{Grundkapital} \cdot (1 + \text{Zinssatz}/100)^{\text{Jahre}} \quad (2.1)$$

2.3.2 Kosten

In diesem Unterkapitel werden die verwendeten Kostenbegriffe definiert.

Reine Baukosten K_B Die reinen Baukosten sind die Summe der Kosten, die zu Beginn der Lebenszeit zur Herstellung des Brückenbestandteils anfallen. Dazu zählen auch die Planung, Berechnung, Absicherungen, Erdbauarbeiten, jedoch nicht die Grunderwerbskosten.

Einmalige Verwaltungskosten K_V Die einmaligen Verwaltungskosten werden in Höhe von 10% der reinen Baukosten angesetzt und beinhalten Vorarbeiten, Vorentwürfe, die Bearbeitung des vergabereifen Bauentwurfs, die Vergabe der Bauarbeiten, die Prüfung der statischen Berechnungen und der Ausführungspläne, die örtliche Bauaufsicht und Bauleitung, ferner die Stellung von Prüf- und Messgeräten, Messfahrzeugen, Hilfsfahrzeugen für die Bauaufsicht und Bauleitung und von Fahrzeugen für die Probelastung sowie sonstige Verwaltungstätigkeiten einschließlich des Rechnungs- und Kassendienstes. Diese Kosten fallen ebenso wie die reinen Baukosten zu Beginn der Lebenszeit der Brücke oder des Brückenbestandteils an.

Errichtungskosten K_{er} Die Errichtungskosten ergeben sich aus der Summe der reinen Baukosten und der einmaligen Verwaltungskosten.

$$K_{er} = 1,1 \cdot K_B \quad (2.2)$$

Abbruchkosten K_A Die Abbruchkosten sind die Kosten für den Abbruch des Brückenbestandteils und fallen am Ende der Lebenszeit des Brückenbestandteils an. Sie werden zu 20% von den reinen Baukosten angenommen.

$$K_A = 0,2 \cdot K_{er} \quad (2.3)$$

Prozentsatz der jährliche Unterhaltskosten p Der Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten beschreibt, wieviel Prozent der Errichtungskosten, jährlich als Unterhaltskosten des Brückenbestandteils fällig wird.

Jährliche Unterhaltskosten K_{jU} Die jährlichen Unterhaltskosten sind die tatsächlichen Kosten, die sich aus dem Produkt des Prozentsatzes der jährlichen Unterhaltskosten und der Errichtungskosten ergeben.

$$K_{jU} = p \cdot K_{er} \quad (2.4)$$

Anlagebetrag AB Der Anlagebetrag ist der Betrag beim Ablösemodell, der angelegt werden muss, um mit den daraus entstehenden Zinsen die Kosten abdecken zu können.

Erneuerungskosten K_{ern} Die Erneuerungskosten sind die Kosten, die zur Erneuerung des Brückenbestandteils fällig sind, um ihn neu zu bauen. Sie setzen sich aus der Summe der reinen Baukosten, den Abbruchkosten und den Verwaltungskosten zusammen.

Erhaltungskosten für Erneuerungen E_{ern} Die Erhaltungskosten sind die Kosten für die fortlaufende Erhaltung der Brücke. Sie setzen sich aus der Summe des Anlagebetrags und der Erneuerungskosten zusammen

kapitalisierte Erhaltungskosten für Erneuerungen AE_{ern} Die kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen beschreiben die Erhaltungskosten zum Betrachtungsjahr, also der Betrag der sich aus der Verzinsung des Anlagebetrags seit der letzten Erneuerung ergeben hat.

kapitalisierte Unterhaltskosten AE_U Die kapitalisierten Unterhaltskosten sollen einen Zinsertrag abwerfen, der die jährlichen Unterhaltskosten abdeckt.

Kapitalisierte Erhaltungskosten AE Die Kapitalisierten Erhaltungskosten setzen sich aus den kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen AE_{ern} und den kapitalisierten Unterhaltungskosten AE_U zusammen.

Nebenkosten Dritter Nebenkosten Dritter sind Kosten, die zusätzlich zu den Brückenkosten auftreten und sind Bestandteil der Lebenszykluskosten. Sie entstehen auf vier unterschiedliche Arten:

- Entstehung beim Bau/Neubau des Rohtragwerks, also am Anfang der Brückenlebensdauer
- Entstehung beim Abriß, also bei jedem Abriß der Ausrüstungsteile bzw. des Rohtragwerks (fallen mehrere Erneuerungen von Brückenbestandteile zusammen, entstehen diese Kosten trotzdem nur einmal)
- Entstehung bei Bau/Erneuerung der Ausrüstungsteile
- Entstehung jährlich

2.3.3 Kostenverlauf unverzinst

Der unverzinsten Kostenverlauf bietet die Möglichkeit, die reinen Kosten, ohne Rücksichtnahme auf die jährliche Verzinsung, zu berechnen. Dabei werden die einzelnen Kosten addiert:

- **Errichtungskosten**
- **jährliche Unterhaltskosten**
- **Abbruchkosten**

Abbildung 2.4 zeigt einen unverzinsten Kostenverlauf. Im dort gezeigten

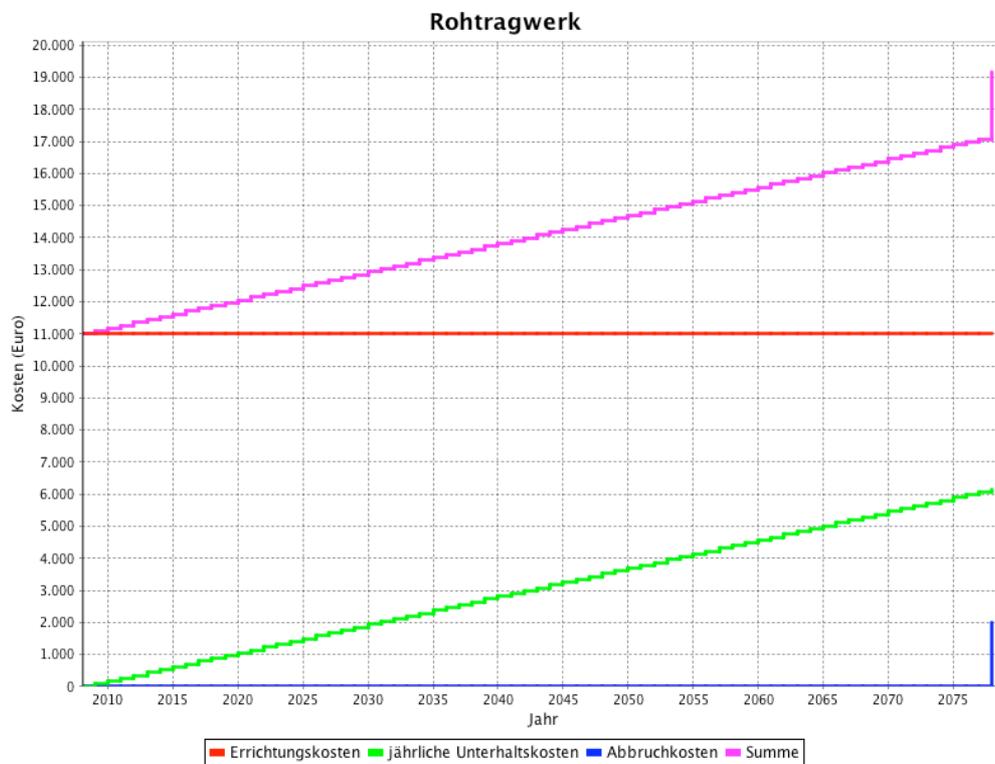


Abbildung 2.4: Kostenverlauf unverzinst: Rohrtragwerk

Diagramm sind die Einzelkosten (rote Linie: Errichtungskosten, grüne Linie: jährliche Unterhaltskosten, blaue Linie: Abbruchkosten) und die Summe dieser (violette Linie) abgebildet. Der Sprung am Anfang der Summenkurve wird durch die Errichtungskosten verursacht. Danach steigt die Kurve durch die jährlichen Unterhaltskosten gleichmäßig bis ans Lebensende und endet mit einem Sprung, verursacht durch die Abbruchkosten.

Die Kostenlinie für die Ausrüstung weist dadurch mehrere Stufen innerhalb eines Lebenszyklus einer Brücke auf, da die Ausrüstungsteile eine wesentlich

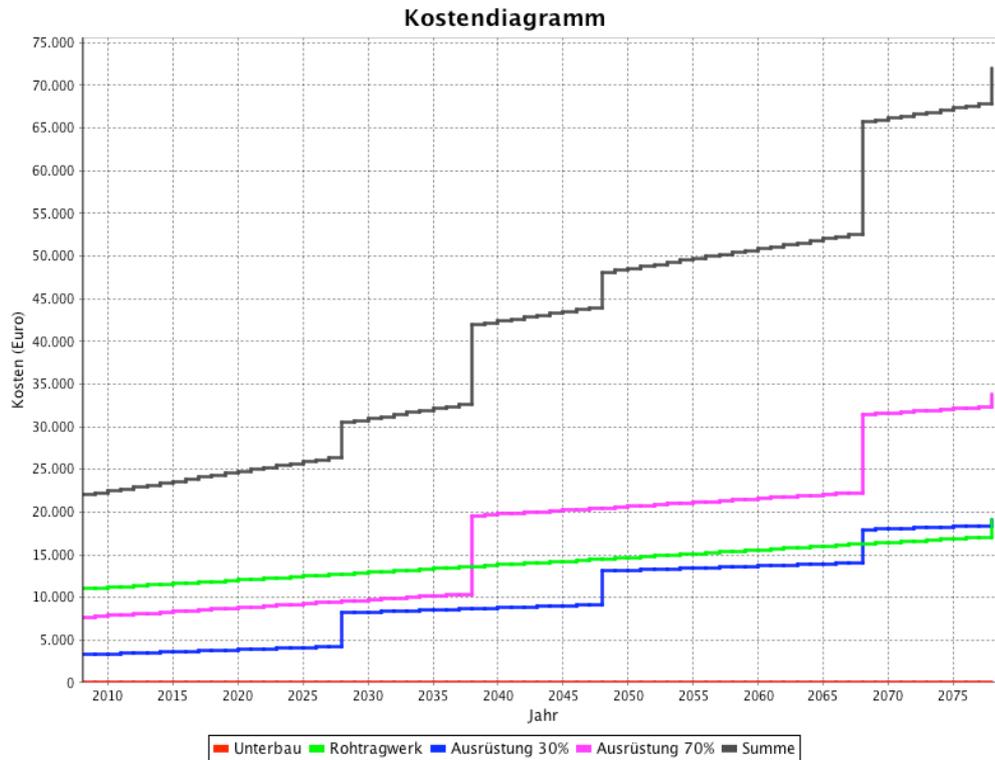


Abbildung 2.5: Kostenverlauf unverzinst: gesamte Brücke

kürzere Lebensdauer von meist 20 bzw. 30 Jahren im Gegensatz zum Rohtragwerk bzw. des Unterbaus haben. Abbildung 2.5 zeigt einen solchen Kostenverlauf. In der Summenlinie erkennt man nun die einzelnen Sprünge, die durch die Erneuerung der Ausrüstungsteile entstehen (Abbruch der alten sowie Errichtung der neuen Ausrüstungsteile). Die einzelnen jährlichen Sprünge der Kurve sind jedoch überall gleich, da sich die jährlichen Unterhaltskosten nicht verändern. Es wird vereinfachend von gleichbleibenden Baukosten der einzelnen Brückenbestandteile über die Lebensdauer der Brücke ausgegangen, da deren Kostenentwicklung nicht vorhersehbar ist.

2.3.4 Lebenszyklusmodell

Während das vorherige Modell (Kostenverlauf unverzinst) nur zur Darstellung der Kostenentstehung sinnvoll eingesetzt werden kann, dient dieses Modell der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Brücken. Es ermittelt auf Grundlage des unverzinsten Kostenverlaufs die verzinsten Kosten. Vom Arbeitskreis „Dauerhaftigkeit - Brücke“ wurde ein Zinsfaktor q mit einem Zinssatz z von 4% für die jährliche Verzinsung festgesetzt.

$$q = 1 + z \quad (2.5)$$

Es werden drei Kategorien von Kosten unterschieden:

- **Errichtungskosten**
- **jährliche Unterhaltskosten**
- **Abbruchkosten**

Für diese Kostenkategorien können die Lebenszykluskosten LZK mit der Endwertmethode und der Barwertmethode berechnet werden:

Endwertmethode

- **Errichtungskosten** Die Errichtungskosten fallen am Anfang der Lebensdauer des betroffenen Bestandteils an und müssen somit bis zum Ende der Lebensdauer der Brücke verzinst werden. Bei Unterbau und Rohtragwerk müssen die Errichtungskosten somit über die gesamte Brückenlebensdauer verzinst werden. Bei den Ausrüstungsteilen wird je nach Ausrüstungszyklus nur noch die Restlebensdauer zur Verzinsung herangezogen, die aber beim ersten Ausrüstungszyklus natürlich auch die Lebensdauer der Brücke ist.

$$LZK_{er}^{end} = K_{er} \cdot p^n \quad (2.6)$$

K_{er} sind die Errichtungskosten des Bestandteils, n ist die Restlebensdauer bis zum Lebensende der Brücke und LZK_{er}^{end} der Lebenszykluskostenendwert der Errichtungskosten.

- **jährliche Unterhaltskosten** Bei den jährlichen Unterhaltskosten müssen die einzelnen jährlichen Kosten jeweils mit der Restlebensdauer der Brücke verzinst und miteinander addiert werden. Die direkte Berechnungsmethode für diesen rekursiven Ansatz ist die nachschüssigen Rentenrechnung, welche aus der Finanzmathematik stammt:

$$LZK_U^{end} = K_{er} \cdot p \cdot \frac{q^{m_{rt}} - 1}{q - 1} \quad (2.7)$$

Hierbei geht man von jährlichen „Einzahlungen“ und einer fixen Verzinsung des entstehenden „Kapitals“ aus. LZK_U^{end} ist der Lebenszykluskostenendwert der jährlichen Unterhaltskosten und m_{rt} die Lebensdauer der Brücke.

- **Abbruchkosten** Die Abbruchkosten für die Brückenbestandteile fallen am Ende der Lebensdauer an. Dieses ist nicht notwendigerweise das Ende der Lebensdauer der Brücke. Für alle Brückenbestandteile, die vor dem Ende der Lebensdauer erneuert werden, müssen die Abbruchkosten mit der Restlebensdauer der Brücke verzinst werden. Da das Lebensdauerende des Rohtragwerks oder des Unterbaus sogleich das Lebensdauerende der Brücke darstellt, ist der Endwert der Abbruchkosten für Rohtragwerk

oder Unterbau gleich dem unverzinsten Abbruchkosten. Die Verzinsung erfolgt über eine Zinseszinsrechnung, wobei K_A die Abbruchkosten sind, m_{rt} die Lebensdauer der Brücke, m die Lebensdauer des betroffenen Bestandteils und i die Anzahl, wie oft der Bestandteil gewechselt wurde.

$$LZK_A^{end} = K_A \cdot p^{m_{rt} - i \cdot m} \quad (2.8)$$

Barwertmethode Die Barwertmethode dient dazu, den Anfangswert einer Brücke unter Berücksichtigung der zukünftigen Investitionen zu berechnen. Jeder Kostenwert im Laufe der Brückenlebensdauer verursacht eine Erhöhung des Barwerts. Die Berechnung kann theoretisch immer über den Endwert erfolgen und kann somit einheitlich für alle drei Kategorien angeschrieben werden, wobei m_{rt} die Lebensdauer der Brücke, LZK^{end} der Lebenszykluskostenendwert und LZK^{bar} der Lebenszykluskostenbarwert ist:

$$LZK^{bar} = LZK^{end} \cdot \frac{1}{q^{m_{rt}}} \quad (2.9)$$

Beispiel: Bei einer Brücke mit der Lebensdauer von 70 Jahren fallen Kosten für die Erneuerung des Strassenbelags von Euro 50.000,- im 60. Lebensjahr an. Dieser Betrag ist nach der Endwertmethode noch 10 Jahre bis zum Brückenlebensende zu verzinsen, also $50.000 \cdot 1,04^{10} = 74.012$. Der Barwert dieses Endwertes ist dann $74.012 \cdot \frac{1}{1,04^{70}} = 4.753$. Natürlich kann der Barwert auch direkt berechnet werden mit $50.000 \cdot \frac{1}{1,04^{60}}$, das aber equivalent zu $50.000 \cdot \frac{1,04^{10}}{1,04^{70}}$ ist.

Den Kostenverlauf zwischen Endwert und Barwert zeigt Abbildung 2.6. Hier wird die Entstehung des Endwerts einzeln für die verschiedenen Kostenkategorien sowie für die Summe gezeigt und mit der oberen schwarzen Kurve die Abzinsung der Summe vom Endwert zum Barwert.

2.3.5 Ablösemodell - immer wiederkehrende Erneuerung

Das Ablösemodell wurde aus der Ablöserichtlinie der ÖBB [17] abgeleitet. Bei diesem Modell geht man von einer zeitlich unbegrenzten Erhaltungsperiode aus. Mit den kapitalisierten Erhaltungskosten müssen die fortlaufenden Erneuerungen der Ausrüstungsteile bzw. der gesamten Brücke finanziert werden. Bei einer Ablöse einer Brücke müssen somit die momentanen kapitalisierten Erhaltungskosten berechnet werden.

Kapitalisierte Erhaltungskosten

Die kapitalisierten Erhaltungskosten ergeben sich aus der Summe der kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen und der kapitalisierten Unterhaltskosten:

$$AE = AE_{ern} + AE_U \quad (2.10)$$

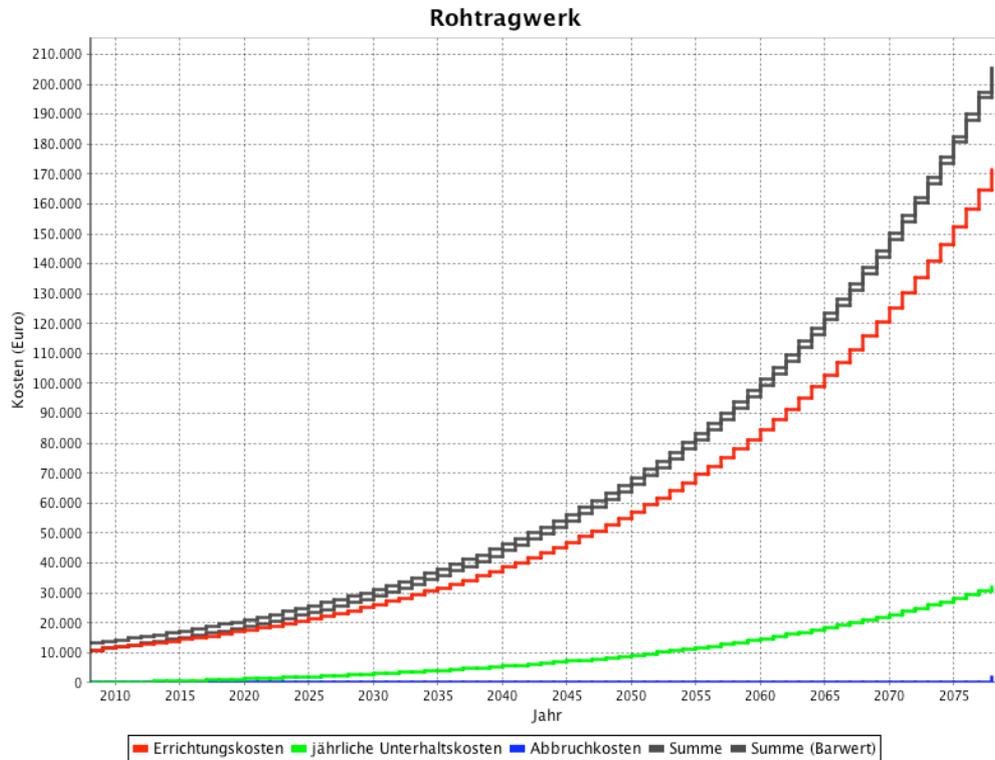


Abbildung 2.6: Kostenverlauf zwischen Barwert und Endwert

Kapitalisierte Erhaltungskosten für Erneuerungen

Die kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen AE_{ern} werden aus den Erhaltungskosten für Erneuerungen E_{ern} berechnet. Bei Unterbau und Rohtragwerk ist die Berechnung einfacher als bei den Ausrüstungsteilen, da die Lebenszeit während der fortlaufenden Erhaltungsperiode immer gleichbleibend ist. Bei der Ausrüstung ist die Lebensdauer zwar auch gleichbleibend, jedoch kann es am Ende der Brückenlebensdauer vorkommen, dass die Ausrüstungsteile vorzeitig (mit der Brücke) abgerissen werden müssen. Am Anfang der Brückenlebensdauer wird somit ein Anlagebetrag herangezogen, der nach jährlicher Verzinsung und schlussendlichem Abzug der Erneuerungskosten für den nächsten Lebenszyklus der Brücke den gleichen Anlagebetrag zur Verfügung stellt. Die Erhaltungskosten E_{ern} am Ende eines Brückenlebenszyklus setzen sich aus den Erneuerungskosten K_{ern} und dem Anlagebetrag AB zusammen. Abbildung 2.7 zeigt den Verlauf der kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen eines Unterbaus.

Die Berechnung erfolgt über die Erhaltungskosten K_{ern} mit der Formel:

$$AE_{ern} = \frac{1}{q^n} \cdot \frac{q^m}{q^m - 1} \cdot K_{ern} \quad (2.11)$$

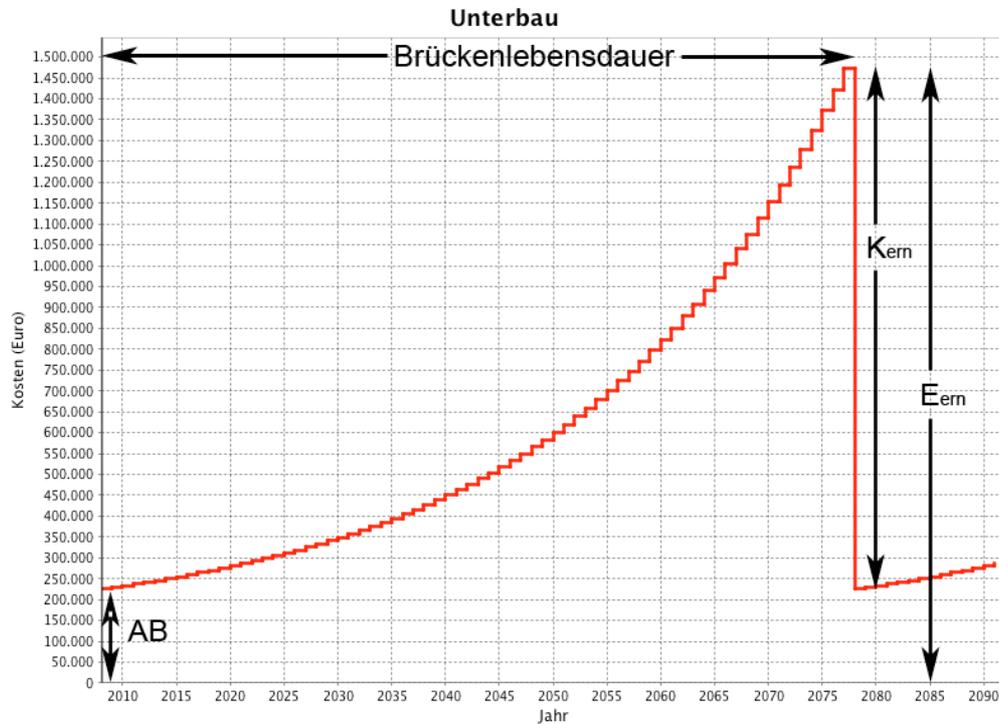


Abbildung 2.7: Ablösemodell - Kapitalisierte Erhaltungskosten für Erneuerungen bei Rohtragwerk und Unterbau

n ist dabei die Restlebensdauer, m die Gesamtlebensdauer der Brücke und q der Zinsfaktor von 1,04.

Die kapitalisierten Erhaltungskosten für Ausrüstungsteile errechnen sich ebenfalls aus den Erhaltungskosten für Erneuerungen E_{ern} , mit Ausnahme, dass die Lebensdauer m beim letzten Erneuerungszyklus kleiner oder gleich der Lebensdauer des Ausrüstungsteils sein kann. Im Laufe eines Brückenlebens, ergeben sich nun unterschiedliche, steigende Anlagebeträge (Betrag zu Beginn der Lebensdauer eines Ausrüstungsteils), sofern die Brückenlebensdauer nicht ein Vielfaches der Ausrüstungsteillebensdauer ist und damit wieder vereinfacht wie bei Rohtragwerk und Unterbau berechnet werden kann. Die vier Sprünge, die in Abbildung 2.8 zu sehen sind, haben alle den gleichen Wert, da diese die Kosten für die Erneuerung der Ausrüstungsteile darstellen.

Kapitalisierte Unterhaltskosten

Die kapitalisierten Unterhaltskosten AE_U sollen einen Zinsertrag abwerfen, der die laufenden jährlichen Unterhaltskosten K_{jU} abdeckt. Es muss somit ein Anlagebetrag vorhanden sein, sodass die dadurch entstehenden Zinsen den Betrag der jährlichen Unterhaltskosten ausgleichen. Da die jährlichen Unterhaltskosten

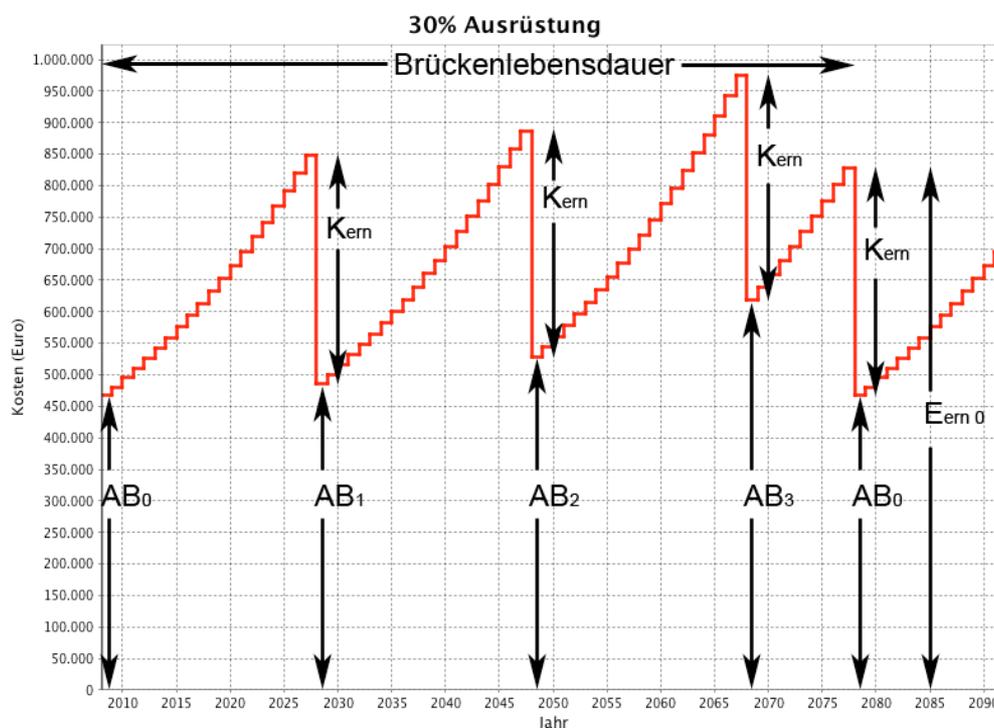


Abbildung 2.8: Ablösemodell - Kapitalisierte Erhaltungskosten für Erneuerungen bei Ausrüstungsteilen

unveränderlich angenommen werden, können die kapitalisierten Unterhaltskosten mit Hilfe des Zinsatzes z von 4% berechnet werden:

$$AE_U = \frac{1}{z} \cdot K_{jU} \quad (2.12)$$

2.3.6 Ablösemodell - nicht wiederkehrende Erneuerung

Beim Ablösemodell mit nicht wiederkehrender Erneuerung handelt es sich um einen Spezialfall. Hierbei wird davon ausgegangen, dass nach der Brückenlebensdauer die Brücke nicht wieder erneuert wird. Somit müssen am Ende die kapitalisierten Kosten gegen Null gehen. In Abbildung 2.9 sind die einzelnen Verläufe der unterschiedlichen kapitalisierten Kosten dargestellt. Die rote Kurve zeigt den Verlauf der kapitalisierten Erhaltungskosten für den Bau der Ausrüstungsteile. Die Stufen stellen die Baukosten des Ausrüstungsteils dar, die immer beim Neubau der Ausrüstungsteile auftreten. Die grüne Kurve zeigt die Abbruchkosten, die auch bei jedem Neubau und zusätzlich noch am Ende der Brückenlebensdauer auftreten. Die blaue Kurve zeigt den Verlauf der kapitalisierten Unterhaltskosten. Die violette Kurve bildet die Summe der drei Kostenkategorien.

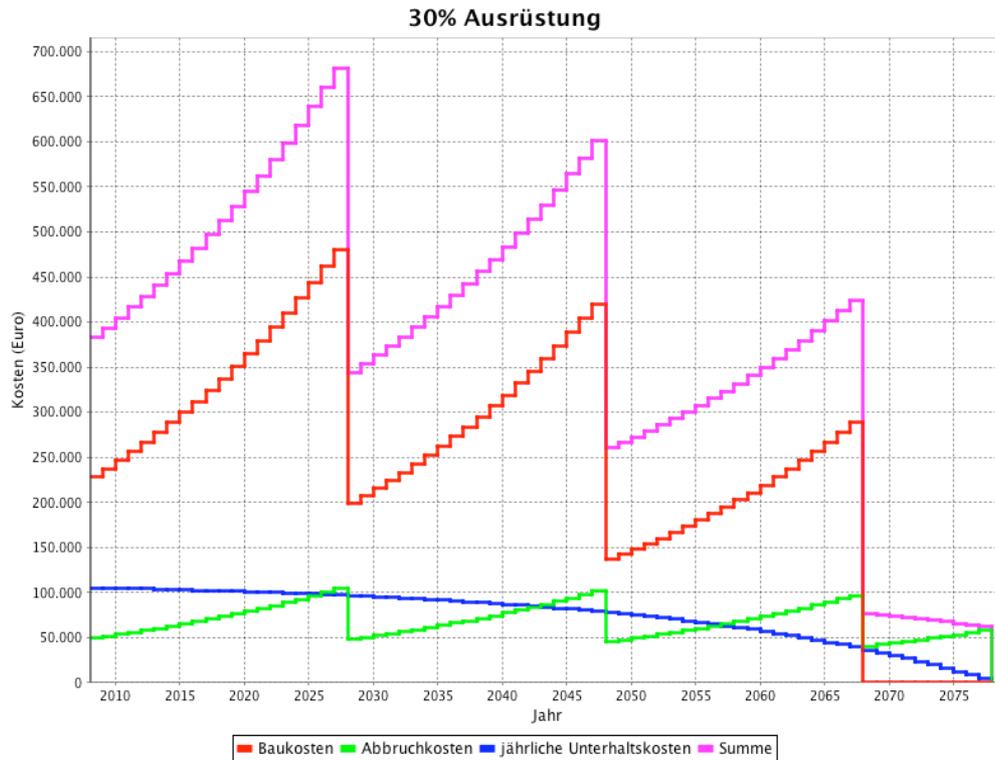


Abbildung 2.9: Ablösemmodell - Kapitalisierte Kosten bei Ausrüstungsteilen für nicht wiederkehrende Erneuerung

Kapitalisierte Erhaltungskosten für Erneuerungen

Den Wert der kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen kann man sich vom Brückenlebensende herleiten, da hier die Kosten gegen Null gehen. Man muss nun zwischen den Kosten für Bau und den Kosten für den Abriss unterscheiden. Dies musste bei der immer wiederkehrenden Erneuerung lediglich addiert werden, da bei jedem Abriss auch wieder ein Bau des Brückenbestandteils erfolgt. Somit entstehen für den Bau am Anfang der Brückenlebensdauer bzw. bei den Ausrüstungsteilen zu jedem Anfang der Lebensdauer der ausgetauschten Ausrüstung die Kosten. Für den Abriss jedoch entstehen die Kosten immer am Ende der Lebensdauer des betreffenden Brückenbestandteils. Konkret wäre die Entstehungen der Kosten für einer Brückenlebensdauer von 70 Jahren und einer Ausrüstungslebensdauer von 30 Jahren für den Bau im Jahr 0, 30 und 60 bzw. für den Abriss im Jahr 30, 60 und 70. Also bekommt man somit die Sprünge der einzelnen Kostenkategorien und dazwischen wird nur retour abgezinst.

Kapitalisierte Unterhaltskosten

Wie bei den kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen müssen die Kosten man am Ende der Brückenlebensdauer gegen Null gehen. Vom Lebensende der Brücke aus können die kapitalisierten Unterhaltskosten am Anfang der Brückenlebensdauer mit einer umgedrehten, nachschüssigen Rentenrechnung berechnet werden, wobei m_{rt} die Brückenlebensdauer, q der Zinsfaktor von 1,04 ist und K_{jU} die jährlichen Unterhaltskosten sind:

$$AE_{U0} = K_{jU} \cdot \frac{1 - \frac{1}{q^{m_{rt}}}}{q - 1} \quad (2.13)$$

Vom Anfangswert AE_{U0} ausgehend können mit der normalen nachschüssigen Rentenrechnung alle Zwischenwerte berechnet werden:

$$AE_U = AE_{U0} \cdot q^m - K_{jU} \cdot \frac{q^m - 1}{q - 1} \quad (2.14)$$

m stellt hierbei das Betrachtungsjahr dar.

Kapitel 3

Programme

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem Aufbau und den Funktionen des Programms zur Berechnung der Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB-Programm) bzw. des Programms für die Faktorgenerierung für das LZKB-Programm (Faktorgenerator).

3.1 LZKB-Programm

Das Userinterface der Programme LZKB-Programm und Faktorgenerator sind in drei Bereiche gegliedert:

- **Pulldown-Menü**
- **Symbolleiste**
- **Registerkartenbereich bzw. Tabbereich**

Im Pulldown-Menü bzw. der Symbolleiste sind alle Grundfunktionen des Programms, Neu, Öffnen, Speichern, Speichern als ..., PDF-Bericht, Über und Beenden enthalten. Abbildung 3.1 und 3.2 zeigen das Pulldown-Menü und die Symbolleiste.

In den folgenden Unterkapiteln werden die einzelnen Registerkarten (Tabs) Basis, Kosten, Faktoren, Eisenbahn, Bericht und Resultate näher erklärt. Dabei ist zu beachten, dass im Programm selbst die Tabs Faktoren und Eisenbahn, erst aktiv werden, sobald die Checkboxes *Auf-/Abminderungsfaktoren* und *spezielle Ausrüstung für Eisenbahnbrücken* im Basis Tab aktiviert werden.

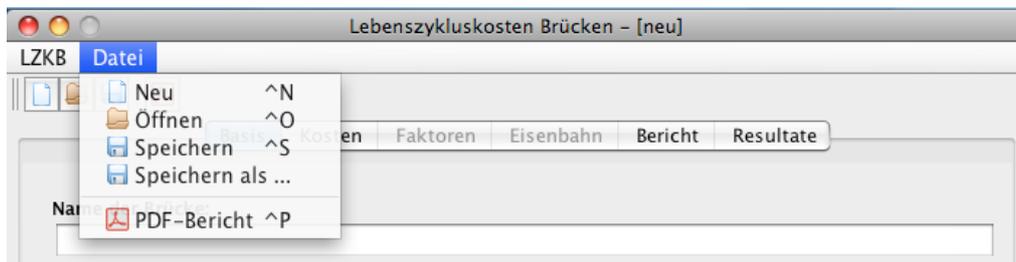


Abbildung 3.1: Pulldown Menü



Abbildung 3.2: Symbolleiste

3.1.1 Tab: Basis

Im Basis-Tab werden die Grunddaten der Brücke eingegeben:

- **Name der Brücke**
- **Beschreibung** der Brücke
- **Errichtung der Brücke** das Errichtungsjahr
- **Betrachtungsjahr** Zeitpunkt für den die Berechnungen durchgeführt werden sollen
- **fixe Brückenlebensdauer** dient zur Einstellung einer fixen Brückenlebensdauer, um unterschiedliche Brücken besser miteinander vergleichen zu können, z.B. Stahlbrücke (100 Jahre) und Betonbrücke (70 Jahre) mit einer fixen Brückenlebensdauer von 70 Jahren
- **Rohtragwerk** muss entsprechend Tabelle 2.1 ausgewählt werden
- **Unterbau** muss laut Tabelle 2.1 ausgewählt werden
- **Art der Berechnung** hier sind vier Möglichkeiten vorgegeben: Kostenverlauf unverzinst, Lebenszyklusmodell und Ablösemodell mit immer wiederkehrender Erneuerung sowie nicht wiederkehrender Erneuerung
- **Auf-/Abminderungsfaktoren** aktiviert den Faktoren-Tab (Standard: deaktiviert)
- **spezielle Ausrüstung für Eisenbahnbrücken** aktiviert den Eisenbahn-Tab (Standard: deaktiviert)

Nach der Auswahl des Rohtragwerks bzw. des Unterbaus werden auf der rechten Seite die Werte für die Lebensdauer m bzw. der jährlichen Unterhaltskosten p für die einzelnen Brückenbestandteile angezeigt. Die Lebensdauern werden aber bedeutungslos, wenn eine fixe Brückenlebensdauer eingestellt wird. Abbildung 3.3 zeigt einen Screenshot des Basis-Tabs.

	m[a]	p[%]
Rohtragwerk:		
Bitte auswählen		
-	-	-
Unterbau:		
Bitte auswählen	-	-

Abbildung 3.3: Basis-Tab

3.1.2 Tab: Kosten

Der Kosten-Tab bietet die Eingabefelder für die Errichtungskosten der drei Brückenbestandteile: Unterbau, Rohtragwerk und Ausrüstung. Das sind die Grundwerte, auf denen die kompletten Berechnungen aufbauen und alle Ergebnisse abgeleitet werden. Weiters wird hier nochmal darauf hingewiesen, dass die Ausrüstungskosten auf 30% und 70% aufgeteilt werden. Dabei haben die 30% eine fixe Lebensdauer von 20 Jahre und die 70% 30 Jahre. Außerdem besitzen die 30% einen Prozentsatz für die jährliche Unterhaltskosten von 1,5% und die 70% einen Prozentsatz von 1,2%. Abbildung 3.4 zeigt den Kosten-Tab.

Weiters sind im unteren Teil des Kosten-Tabs die Nebenkosten Dritter einzugeben. Diese werden in vier Kategorien unterteilt, die im Einführungskapitel näher erklärt wurden. Die Nebenkosten Dritter sind nur von den Lebensdauern der einzelnen Brückenbestandteile abhängig und werden somit am Anfang bzw. Ende der Lebensdauer des betreffenden Bestandteils oder jährlich zu den Lebenszykluskosten addiert.

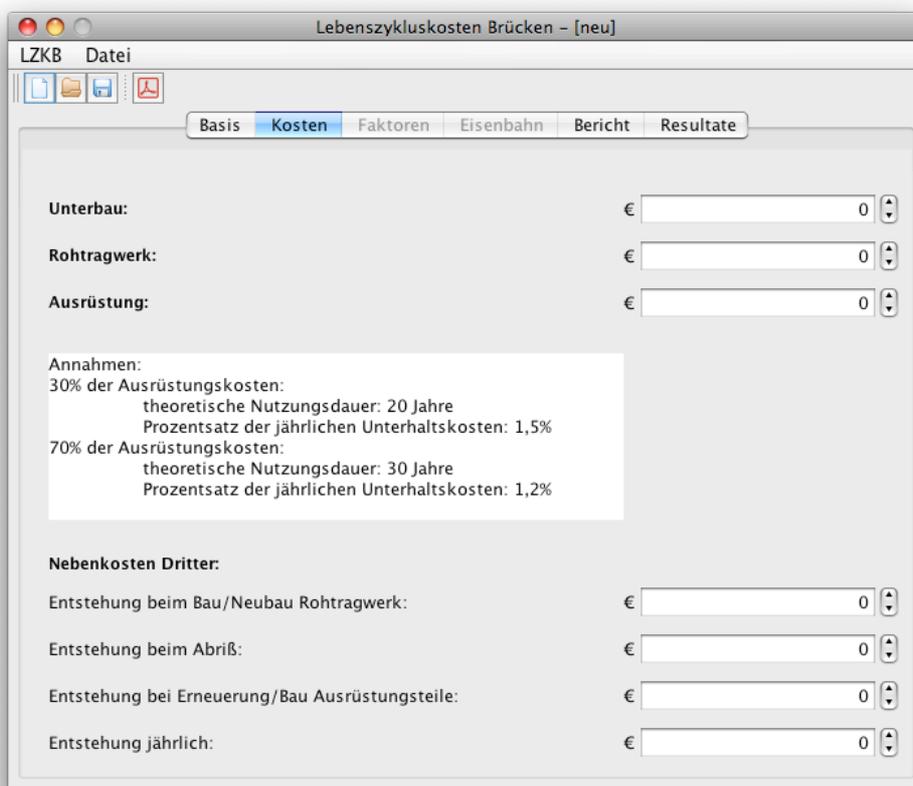


Abbildung 3.4: Kosten-Tab

3.1.3 Tab: Faktoren

Der Faktoren-Tab beinhaltet die Auf- und Abminderungsfaktoren für Lebensdauer und jährlichen Unterhaltskosten. Er ist nur aktiv, wenn im Basis-Tab die Checkbox *Auf- / Abminderungsfaktoren* aktiviert ist.

Mit der ersten Checkbox ganz links kann jeder Faktor einzeln aktiviert werden. Die Checkboxes A, B und C dienen zur Information, welchen Brückenbestandteil der Faktor betrifft (A... Unterbau, B... Rohtragwerk, C... Ausrüstung). Dies kann aber nur über den Faktorgenerator verändert werden. Falls es sich um einen linear veränderlichen Faktor handelt, kann über ein Spinner-Feld der benötigte Wert eingestellt werden. In Abbildung 3.5 zum Beispiel kann der Wert beim Faktor *Betondeckung* von 3,50 cm bis 6,00 cm eingestellt werden, somit ändert sich der Wert für *km* von 1,00 für für 3,50 cm bis 1,10 für 6,00 cm, bzw. für *kp* von 1,00 für 3,50 cm bis 0,9 für 6,00 cm. Die Werte rechts im Tab zeigen, wie der Faktor die Lebensdauer bzw. die jährlichen Unterhaltskosten verändern würde, wenn er aktiv ist.

Rechts unten wird das Produkt der aktiven Faktoren für die Lebensdauer bzw. der jährlichen Unterhaltskosten jedes Brückenbestandteils angezeigt. Abbildung 3.5 zeigt ein Beispiel eines Faktoren-Tabs. Die Faktoren können mit dem Programm Faktorgenerator verändert werden.

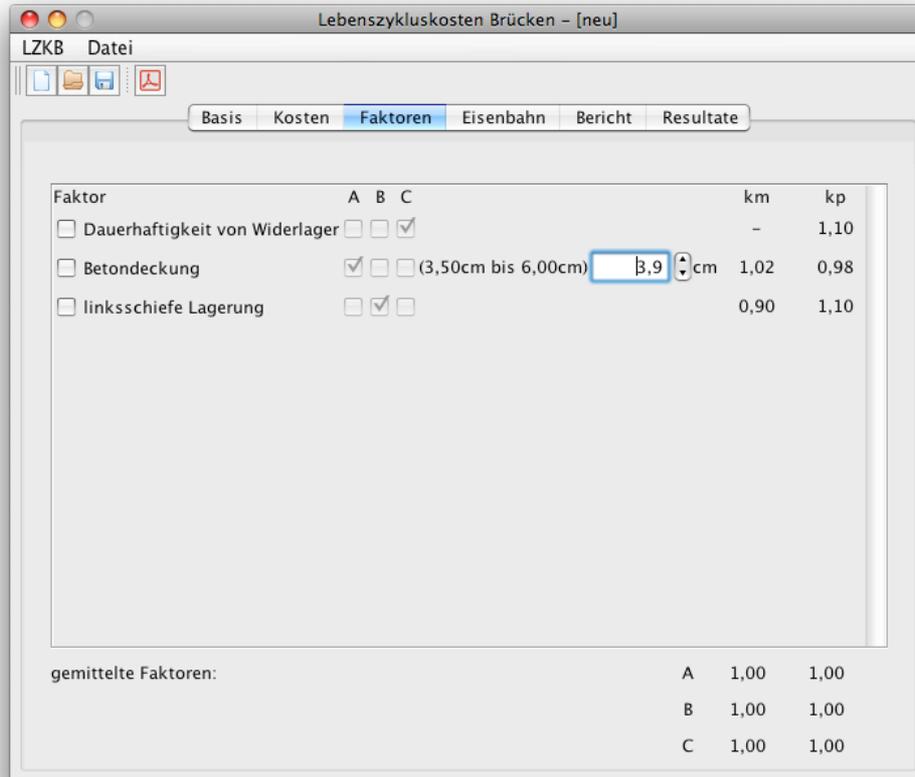


Abbildung 3.5: Faktoren-Tab

3.1.4 Tab: Eisenbahn

Der Eisenbahn-Tab ist extra für Eisenbahnbrücken gedacht und bietet spezielle Faktoren. Dieser Tab ist ähnlich aufgebaut wie der Faktoren-Tab, jedoch mit dem Unterschied, dass zu jedem Faktor ein Kostenwert eingegeben werden muss. Dieser Wert wird von den gesamten Ausrüstungskosten abgezogen und liefert einen eigenen zusätzlichen Kostenverlauf. Die Summe der im Eisenbahn-Tab angeführten Ausrüstungskosten darf im Kosten-Tab eingegebene Gesamtkosten der Ausrüstung nicht übersteigen. Zusätzlich gibt es noch die Einschränkung, dass die Summe der Kostenwerte mit 30 Jahren Lebensdauer

er nicht 70% der gesamten Ausrüstungskosten bzw. die Summe der Kostenwerte mit 20 Jahren Lebensdauer nicht 30% der gesamten Ausrüstungskosten übersteigen darf. Abbildung 3.6 zeigt den Eisenbahn-Tab.

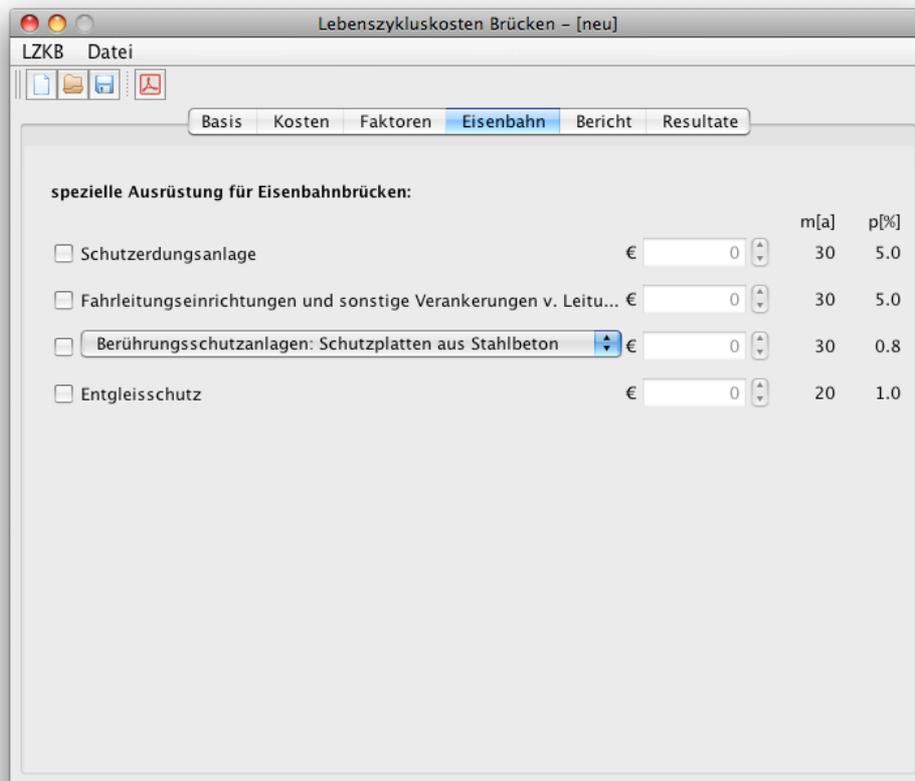


Abbildung 3.6: Eisenbahn-Tab

3.1.5 Tab: Bericht

Der Bericht-Tab bietet Eingabemöglichkeiten, die die Darstellung des Endberichts verändern. Hierbei können die Grafiken der Gesamtkosten bzw. der einzelnen Kosten der Brückenbestandteile aktiviert bzw. deaktiviert werden. Zusätzlich gibt es noch die Möglichkeit bei den Grafiken einen fixen Maßstab zu wählen, sodass alle den gleichen Kostenmaximalwert besitzen. Dies hat den Vorteil, dass die Grafiken so gewählt werden können, dass alle den gleichen Maßstab besitzen und somit besser vergleichbar sind. Mit dem Button *PDF-Bericht* im oberen Bereich rechts, kann ein Bericht als PDF-Dokument generiert werden. Abbildung 3.7 zeigt den Bericht-Tab.

Im unteren Teil des Bericht-Tabs kann die Gestaltung der Kopfzeile verändert werden, dabei können eigene Firmenkopfvorlagen, bestehend aus Firmenlogo und zwei Firmenzeilen angelegt werden. Mit den Exportieren- bzw. Importieren-Buttons können bestehende Vorlagen in eine bzw. von einer XML-Datei exportiert bzw. importiert werden. Mit dem Button *als Default markieren* kann die Standardkopfzeile eingestellt werden.

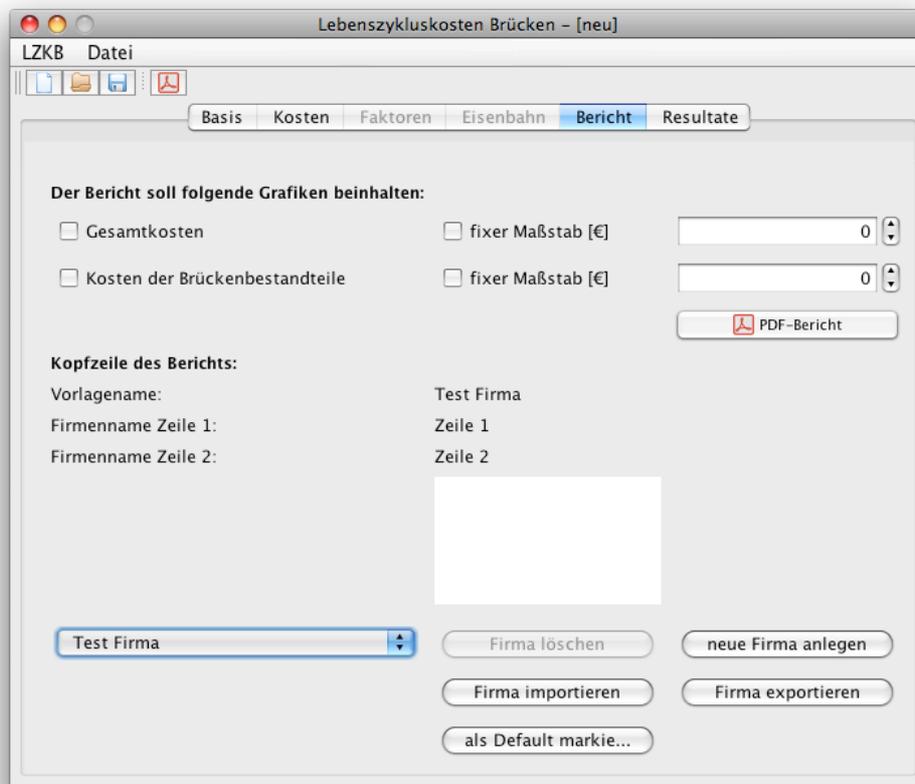


Abbildung 3.7: Bericht -Tab

3.1.6 Tab: Resultate

Im Resultate-Tab sind die wichtigsten Eingaben und Ergebnisse numerisch gelistet. Ist im Basis-Tab noch nicht alles ausgewählt bzw. eingegeben, wird beim betreffenden Ergebnis „0“, „-“ oder „Bitte auswählen“ angezeigt. Außerdem bietet der Tab die Möglichkeit den Verlauf der Kosten für die einzelnen Brückenbestandteile bzw. der Summe der Brückenbestandteile in einem PopUp-Fenster grafisch anzuzeigen, indem man dieses mit den Buttons links

unten, neben den jeweiligen Brückenbestandteil sowie den Nebenkosten und der Summe aufruft.

The screenshot shows a software window titled "Lebenszykluskosten Brücken - [neu]". It has a menu bar with "LZKB" and "Datei", and a toolbar with icons for file operations. Below the toolbar is a tabbed interface with tabs for "Basis", "Kosten", "Faktoren", "Eisenbahn", "Bericht", and "Resultate". The "Resultate" tab is active and displays the following data:

	Ker	KjU	m[a]
Unterbau	€ 0	€ 0	0
Rohtragwerk	€ 0	€ 0	0
30% Ausrüstung	€ 0	€ 0	20
70% Ausrüstung	€ 0	€ 0	30

Below the table, there are input fields for calculation parameters:

Berechnungsmethode: Bitte auswählen
 Errichtungsjahr: 2008
 Jahr: 2008
 Endjahr: -

Below this, there is a section for "Betrachtungsjahr" (2008) with a summary table:

Betrachtungsjahr:	2008	-
Unterbau:	€ 0	€ 0
Rohtragwerk:	€ 0	€ 0
Ausrüstung 30%:	€ 0	€ 0
Ausrüstung 70%:	€ 0	€ 0
Nebenkosten:	€ 0	€ 0
Summe:	€ 0	€ 0

Abbildung 3.8: Resultate Tab

3.2 Faktorgenerator

Der Faktorgenerator wurde eigens für die Generierung von Faktoren entwickelt. Jede abgespeicherte Brücke hat ihre eigene Faktorenliste, die individuell mit dem Faktorgenerator verändert werden kann. Dabei wird die Reihenfolge mit den Auf und Ab Buttons verändert, einzelne Faktoren mit dem X-Button gelöscht und neue Faktoren mit dem +-Button hinzugefügt werden. Als Eingabewerte sind folgende Eigenschaften möglich:

- **Faktorname**
- **A, B, C** wählt aus, für welche Brückenbestandteile dieser Faktor gültig ist.

- **Linear** gibt an, ob der Faktor linear veränderlich sein soll und in welchem Wertebereich inklusive Einheit er sich bewegen soll. Der Wert für km bzw. kp verändert sich dadurch linear von 1,00 bis zum eingegebenen Wert für km bzw. kp .
- **Wert für Faktor km** wird mit der Lebensdauer multipliziert, falls ausgewählt.
- **Wert für Faktor kp** wird mit dem Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten multipliziert, falls ausgewählt.

Abbildung 3.9 zeigt eine Beispielkonfiguration des Faktorgenerators.

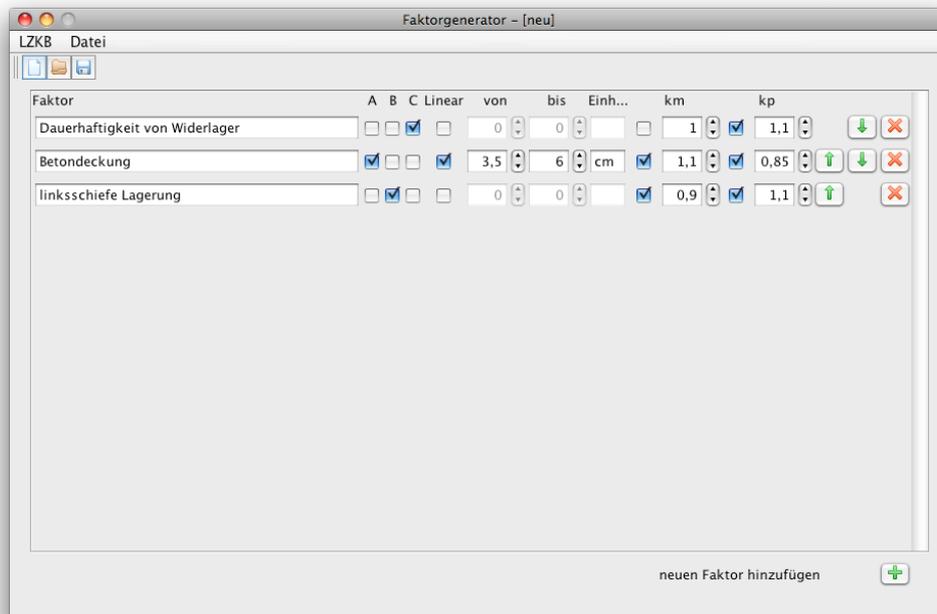


Abbildung 3.9: Faktorgenerator

Beispiel: Der Faktor *Dauerhaftigkeit von Widerlager* betrifft nur die Ausrüstung und den Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten mit einer Aufminderung von 1,1. Der Faktor *Betondeckung* ist nur für den Unterbau gültig und ist linear veränderlich von 3,5 bis 6 mit der Einheit *cm*. Somit nehmen die Faktoren je nach Einstellung im LZKB-Programm einen Wert zwischen 1,0 und 1,1 für den Faktor km und zwischen 1,0 und 0,85 für den Faktor kp an. Der Faktor *linksschiefe Lagerung* ist nur für das Rohtragwerk gültig und hat nicht linear veränderliche Faktoren km und kp von 0,9 und 1,1.

Kapitel 4

Implementation

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Implementation des Programms zur Berechnung der Lebenszykluskosten von Brücken. Bei der Programmierung wurde eine Unterteilung in Arbeitsklassen und Userinterface-Klassen eingehalten. Die Arbeitsklassen führen die Berechnungen und Arbeitsschritte durch, wie z.B. das Generieren des Endberichts. Die Userinterface-Klassen beinhalten den Code, der die grafische Darstellung des Programms beschreibt.

4.1 LZKB-Programm `bruecke.jar`

Es wurde eine Klassentrennung in Arbeitsklassen und Userinterface-Klassen angewandt. Die folgenden Unterkapitel erklären die einzelnen Klassen.

4.1.1 Arbeitsklassen

Starter.java Die Starter-Klasse beinhaltet den Code zum Starten des Programms. Dabei sind zwei unterschiedliche Startvarianten möglich:

- **void restart()** Das Programm startet mit der grundlegenden Vorlage-datei *LZKB_Vorlage.lzkb*, welche in Unterkapitel 4.3 näher erklärt wird.
- **void restart(File file)** Das Programm startet mit der angegebenen, gesicherten Datei.

Weiters beinhaltet diese Klasse eine Methode **void setTitle()**, welche den Titel des Fensters setzt, im Format „Lebenszykluskosten Brücken - [Name]“.

LZKBSaver.java Die LZKBSaver-Klasse dient zur Abspeicherung der erstellten und zum Öffnen der abgespeicherten Brückendaten. Weiters wird in der Klasse beim Öffnen einer bestehenden Brückendatei eine Versionsüberprüfung durchgeführt. Da verschiedene Versionen des LZKB-Programms im Umlauf sind, können nur abgespeicherte Brücken mit einer Versionsnummer kleiner gleich der Programm-Versionsnummer geöffnet werden. Die LZKBSaver.java Klasse kann nun auf zwei unterschiedliche Arten aufgerufen werden:

- **LZKBSaver()** wird aufgerufen, wenn eine neue Brückendatei geöffnet wird. Die file-Variable, in der die Stelle der Brückendatei gespeichert ist, bleibt dabei noch leer.
- **LZKBSaver(File file)** wird aufgerufen, wenn eine bestehende Brückendatei geöffnet wird. Die file-Variable, in der die Stelle der Brückendatei gespeichert ist, wird mit der übergebenen Variable beschrieben.

Diese Klasse beinhaltet außerdem noch folgende Methoden:

- **void openNew()** führt die Methode **restart()** von der Klasse Starter.java aus.
- **void open()** öffnet ein FileChooser-Fenster, führt nach der Bestätigung **restart(file)** von der Klasse Starter.java aus und öffnet somit die angegebene Datei *file*. Außerdem wird hier die Versionsüberprüfung durchgeführt.
- **boolean versionOK(File file)** Versionsüberprüfung mit Rückgabewert, ob die Version der Brückendatei gleich der Version des Programms ist.
- **updateVersion()** speichert die Brücke mit der richtigen Versionsnummer ab.
- **void save()** speichert die Brückendatei ab.
- **void saveAs()** öffnet ein FileChooser-Fenster und speichert nach dem OK die Brückendatei am gewünschten Ort ab.
- **void saveAll()** sammelt alle Werte aus den einzelnen Programmtabs zusammen und generiert eine temporäre Brückenklasse, die anschließend abgespeichert werden kann.

ResultCalc.java Die ResultCalc-Klasse ist jene Klasse, die alle Eingabewerte sammelt, die Berechnungen durchführen lässt und die Ergebnisse speichert. Sie greift nacheinander auf die Userinterfaces zu, liest die einzelnen eingegebenen Werte aus. Danach schickt sie diese weiter an die Berechnungsklassen *Lebenszyklusmodell.java* und *Ablösemodell.java* bzw. führt kleine Berechnungen selbst durch. Dieser Berechnungsvorgang wird durch die *void calc()*-Methode gestartet. Daraufhin werden alle Werte in Variablen zwischengespeichert, um danach mit den zugehörigen, nachfolgend aufgelisteten Getter-Methoden, wieder ausgelesen werden zu können:

- **int** `getYearUnterbau()` Lebensdauer des Unterbaus
- **int** `getYearRohtragwerk()` Lebensdauer des Rohtragwerks
- **int** `getMinYear()` Minimum der Lebensdauern von Rohtragwerk und Unterbau
- **int** `getYearAusruestung30()` Lebensdauer von 30% der Ausrüstung
- **int** `getYearAusruestung70()` Lebensdauer von 70% der Ausrüstung
- **double** `getBetrachtUnterbau()` Kosten des Unterbaus zum Betrachtungszeitpunkt
- **double** `getBetrachtRohtragwerk()` Kosten des Rohtragwerks zum Betrachtungszeitpunkt
- **double** `getBetrachtAusruestung30()` Kosten von 30% der Ausrüstung zum Betrachtungszeitpunkt
- **double** `getBetrachtAusruestung70()` Kosten von 70% der Ausrüstung zum Betrachtungszeitpunkt
- **double** `getBetrachtNebenkosten()` Summe der Nebenkosten zum Betrachtungszeitpunkt
- **double** `getBetrachtSumme()` Summe der Kosten zum Betrachtungszeitpunkt
- **double** `getEndUnterbau()` Kosten des Unterbaus zum Ende der Lebensdauer
- **double** `getEndRohtragwerk()` Kosten des Rohtragwerks zum Ende der Lebensdauer
- **double** `getEndAusruestung30()` Kosten von 30% der Ausrüstung zum Ende der Lebensdauer
- **double** `getEndAusruestung70()` Kosten von 70% der Ausrüstung zum Ende der Lebensdauer
- **double** `getEndNebenkosten()` Summe der Nebenkosten zum Ende der Lebensdauer
- **double** `getEndSumme()` Summe der Kosten zum Ende der Lebensdauer
- **double** `getAusruestungKosten30()` 30% der eingegebenen Ausrüstungskosten
- **double** `getAusruestungKosten70()` 70% der eingegebenen Ausrüstungskosten
- **double** `getRohtragwerkKosten()` eingegebene Rohtragwerkskosten
- **double** `getUnterbauKosten()` eingegebene Unterbaukosten
- **double** `getJUUnterbau()` jährliche Unterhaltskosten des Unterbaus

- **double getJURohtragwerk()** jährliche Unterhaltskosten des Rohtragwerks
- **double getJUAusruestung30()** jährliche Unterhaltskosten von 30% der Ausrüstungskosten
- **double getJUAusruestung70()** jährliche Unterhaltskosten von 70% der Ausrüstungskosten
- **double getPA()** Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten des Rohtragwerks
- **double getPB()** Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten des Unterbaus
- **double getPC30()** Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten von 30% der Ausrüstung
- **double getPC70()** Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten von 70% der Ausrüstung
- **double getNebenkostenRT()** Nebenkosten für Bau/Neubau des Rohtragwerks
- **double getNebenkostenAbriss()** Nebenkosten für den Abriss
- **double getNebenkostenAT()** Nebenkosten für Bau/Erneuerung der Ausrüstungsteile
- **double getNebenkostenJ()** Nebenkosten jährlich

Lebenszyklusmodell.java In der Lebenszyklusmodell-Klasse sind die Berechnungsmethoden zur Berechnung der Kosten auf Grundlage des Lebenszyklusmodells zu finden. Von jeder hier enthaltenen Methode sind immer zwei Varianten zur Verfügung gestellt:

- **value-Methode** Diese Methode beinhaltet die Berechnung eines einzelnen Wertes.
- **course-Methode** Diese Methode beinhaltet die Berechnung des Verlaufs der Lebenszykluskosten zum Wert der value-Methode.

Folgende Berechnungen können auf beide zuvor genannten Methoden durchgeführt werden:

- **Barwert** berechnet den Barwert eines gegebenen Endwerts.
- **Kostenverlauf unverzinst** berechnet den unverzinsten Kostenverlauf der gewünschten Kostenkategorie:
 - **Errichtungskosten**
 - **Abbruchkosten**
 - **jährliche Unterhaltskosten**

- **Nebenkosten Bau**
- **Nebenkosten Abriss**
- **Nebenkosten jährlich**
- **Summe** der unverzinsten Errichtungskosten, Abbruchkosten, jährlichen Unterhaltskosten und Nebenkosten
- **Endwert** berechnet den verzinnten Endwert der gewünschten Kostenkategorie.
 - **Errichtungskosten**
 - **Abbruchkosten**
 - **jährliche Unterhaltskosten**
 - **Nebenkosten Bau**
 - **Nebenkosten Abriss**
 - **Nebenkosten jährlich**
 - **Summe** der verzinnten Errichtungskosten, Abbruchkosten, jährlichen Unterhaltskosten und Nebenkosten

Außerdem wurde noch eine Methode zur Addition zweier Verläufe bereitgestellt `double[] addCourses(double[] courseA, double[] courseB)`.

Ablösemodell.java In der Ablösemodell-Klasse sind die Berechnungsmethoden zur Berechnung der Kosten auf Grundlage des Ablösemodells zu finden. Von jeder hier enthaltenen Methode sind wiederum immer zwei Varianten zur Verfügung gestellt:

- **course-Methode mit immer wiederkehrender Erneuerung** Diese Methode beinhaltet die Berechnung des Verlaufs bei einer immer wiederkehrender Erneuerung der Brücke.
- **course-Methode ohne wiederkehrender Erneuerung** Diese Methode beinhaltet die Berechnung des Verlaufs bei einer nicht wiederkehrender Erneuerung der Brücke, das heißt die Brücke wird nach dem Lebensende nicht mehr aufgebaut.

Folgende Berechnungen können auf beide zuvor genannten Methoden durchgeführt werden:

- **AE_ern** berechnet die kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen, sowohl für Rohtragwerk und Unterbau als auch für die Ausrüstung.
- **AE_U** berechnet die kapitalisierten Unterhaltskosten.
- **AE_nk** berechnet die kapitalisierten Erhaltungsnebenkosten, wobei hier eine Aufteilung in folgende Kategorien getroffen wurde:
 - Nebenkosten die beim Bau eines Brückenbestandteils entstehen.

- Nebenkosten die beim Abriss eines Brückenbestandteils entstehen.
- Nebenkosten die jährlich entstehen.
- **Summe** von AE_ern, AE_U und AE_nk

Außerdem wurde noch eine Methode zur Addition zweier Verläufe bereitgestellt `double[] addCourses(double[] courseA, double[] courseB)`.

Reportgenerator.java Die Reportgenerator-Klasse beinhaltet die sequentiellen Schritte zur Erstellung des PDF-Endberichts. Dies wird durch die Methode `void generate ()` gestartet. Zuerst wird die Startseite mit den Resultaten generiert, danach wird abgefragt, ob im Bericht-Tab die Checkbox *Gesamtkosten* bzw. *Kosten der Brückenbestandteile* aktiviert ist und je nach Zustand die einzelnen Diagramme in das PDF-Dokument importiert. Außerdem wird auf jeder Seite die Kopfzeile eingefügt, die auch im Bericht-Tab definiert ist.

4.1.2 Userinterface-Klassen

Bei den folgenden Klassen handelt es sich um die Userinterface-Klassen, die den Code der grafischen Oberfläche beinhalten. Diese sind immer folgendermaßen aufgebaut:

- **Constructor** z.B. `UI_Main()`, welcher spezielle Methoden bei der Initialisierung der Klasse (des Objekts) aufruft.
- **void initGUI()** besitzt die Anweisungen, wie und wo die einzelnen grafischen Objekte angeordnet werden.

UI_Basis.java Die `UI_Basis`-Klasse ist der Code für den ersten Tab, der die Eingabefelder für die Grunddaten der Brücke beschreibt. Neben den Standardmethoden und Constructoren wurden noch folgende Methoden implementiert:

- **int getMaUnterbau()** gibt die Lebensdauer des Unterbaus zurück.
- **double getPUnterbau()** gibt den Prozentsatz für die jährlichen Unterhaltskosten des Unterbaus zurück.
- **int getMaRohtragwerk()** gibt die Lebensdauer des Rohtragwerks zurück.
- **double getPRohtragwerk()** gibt den Prozentsatz für die jährlichen Unterhaltskosten des Rohtragwerks zurück.
- **int getBerechnung()** gibt den Index der Berechnungsart-Combobox zurück.
- **String getBerechnungName()** gibt den Namen der Berechnungsmethode zurück.

- **boolean faktorenIsSelected()** zeigt an, ob die Checkbox für die Auf-/Abminderungsfaktoren aktiviert ist.
- **int getBetrachtungsjahr()** gibt das Betrachtungsjahr zurück.
- **int getErrichtungsjahr()** gibt das Errichtungsjahr zurück.
- **boolean fixeLebensdauerIsSelected()** zeigt an, ob die Checkbox für die fixe Brückenlebensdauer aktiviert ist.
- **int getFixeLebensdauer()** gibt den Wert der eingegebenen fixen Brückenlebensdauer zurück.
- **boolean eisenbahnIsSelected()** zeigt an, ob die Checkbox für die spezielle Ausrüstung für Eisenbahnbrücken aktiviert ist.
- **int getUnterbauIndex()** gibt den Index der Unterbau-Combobox zurück.
- **String getUnterbauName()** gibt den Namen des Überbaus zurück.
- **int getRohtragwerkIndex()** gibt den Index der Rohtragwerk-Combobox zurück.
- **String getRohtragwerkName()** gibt den Namen des Rohtragwerks zurück.
- **int getUeberbauIndex()** gibt den Index der Überbau-Combobox zurück.
- **String getUeberbauName()** gibt den Namen des gewählten Überbaus zurück.
- **String getBeschreibung()** gibt die Beschreibung zurück.
- **String getBrueckename()** gibt den Brückennamen zurück.
- **void updateBetrachtungsjahr()** setzt das Minimum sowie das Maximum des Eingabe-Spinners für das Betrachtungsjahr, bzw. aktiviert oder deaktiviert diesen, je nachdem welche Berechnungsmethode gewählt ist.
- **void deactivateUnterbau()** deaktiviert die Combobox-Unterbau im Basis-Tab und das Unterbau-Eingabefeld im Kosten-Tab.
- **void activateUnterbau()** aktiviert die Combobox-Unterbau im Basis-Tab und das Unterbau-Eingabefeld im Kosten-Tab.

UI_Eisenbahn.java Die UI_Eisenbahn-Klasse beinhaltet den Code für den Eisenbahn-Tab. Es wurden neben den Standardmethoden folgende Methoden implementiert:

- **void updateModels()** setzt die Minima und Maxima der einzelnen Eingabefelder der Kosten.
- **double getSchutzerdungsanlageKosten()** gibt den Wert des Kosteneingabefeldes *Schutzerdungsanlage* zurück.

- **double getFahrleitungseinrichtungKosten()** gibt den Wert des Kosteneingabefeldes *Fahrleitungseinrichtungen und sonstige Verankerungen v. Leitungen* zurück.
- **double getBeruehrungsschutzKosten()** gibt den Wert des Kosteneingabefeldes *Berührungsschutzanlagen* zurück.
- **double getEntgleisungsschutzKosten()** gibt den Wert des Kosteneingabefeldes *Entgleisschutz* zurück.
- **Boolean getBeruehrungsschutzIsSelected()** zeigt an, ob die Checkbox *Berührungsschutzanlagen* aktiviert ist.
- **Boolean getEntgleisungsschutzIsSelected()** zeigt an, ob die Checkbox *Entgleisschutz* aktiviert ist.
- **Boolean getFahrleitungseinrichtungIsSelected()** zeigt an, ob die Checkbox *Fahrleitungseinrichtungen und sonstige Verankerungen v. Leitungen* aktiviert ist.
- **Boolean getSchutzerdungsanlageIsSelected()** zeigt an, ob die Checkbox *Schutzerdungsanlage* aktiviert ist.
- **int getComboBoxBeruehrungsschutzIndex()** gibt den Index der Combobox *Berührungsschutzanlagen* zurück.
- **double getPBS()** gibt den Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten für *Berührungsschutzanlagen* zurück.
- **double getPES()** gibt den Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten für *Entgleisschutz* zurück.
- **double getPFE()** gibt den Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten für *Fahrleitungseinrichtungen und sonstige Verankerungen v. Leitungen* zurück.
- **double getPSEA()** gibt den Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten für *Schutzerdungsanlage* zurück.

UI_Faktoren.java Der Faktoren-Tab wird durch die UI_Faktoren-Klasse generiert. Diese Klasse ist komplexer als die anderen Userinterface-Klassen, da die Faktoren individuell von der Brückendatei gestaltet werden. Im Folgenden wird die Standardmethode *initGUI()* und die Methode *updateFaktor()* genauer erläutert, da diese die komplexen Teile der Klasse sind:

- **void initGUI()** Bei der *initGUI()*-Methode werden nacheinander die Faktoren der Brückendatei ausgelesen und in den Faktoren-Tab eingebunden. Dabei werden sequentiell Faktor für Faktor die einzelnen JLabel, JTextField, JSpinner und JCheckbox-Objekte erstellt.
- **void updateFaktor()** Die *updateFaktor()*-Methode ist für die Berechnung des Faktors der Lebensdauer und des Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten für die einzelnen, linear veränderlichen Faktoren zuständig.

Außerdem wird aus den aktivierten Faktoren das Produkt für die drei Brückenbestandteilkategorien, jeweils für die Lebensdauer und dem Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten, berechnet.

Grundlegend sind noch folgende Methoden vorhanden:

- **double getFAM()** gibt den entgeltigen Faktor für die Lebensdauer des Unterbaus an, der sich durch die Multiplikation der einzelnen, für den Kategorie gültigen und aktivierten Faktoren zusammensetzt.
- **double getFBM()** gibt den entgeltigen Faktor für die Lebensdauer des Rohtragwerks an, der sich durch die Multiplikation der einzelnen, für den Kategorie gültigen und aktivierten Faktoren zusammensetzt.
- **double getFCM()** gibt den entgeltigen Faktor für die Lebensdauer der Ausrüstungsteile an, der sich durch die Multiplikation der einzelnen, für den Kategorie gültigen und aktivierten Faktoren zusammensetzt.
- **double getFAP()** gibt den entgeltigen Faktor für den Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten des Unterbaus an, der sich durch die Multiplikation der einzelnen, für den Kategorie gültigen und aktivierten Faktoren zusammensetzt.
- **double getFBP()** gibt den entgeltigen Faktor für den Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten des Rohtragwerks an, der sich durch die Multiplikation der einzelnen, für den Kategorie gültigen und aktivierten Faktoren zusammensetzt.
- **double getFCP()** gibt den entgeltigen Faktor für den Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten der Ausrüstungsteile an, der sich durch die Multiplikation der einzelnen, für den Kategorie gültigen und aktivierten Faktoren zusammensetzt.
- **Faktor[] getFaktoren()** gibt ein Array der Faktoren inklusive der Aktivierungen und Werte zurück. Diese Methode wird für das Abspeichern verwendet.

UI_Kosten.java Die `UI_Kosten`-Klasse implementiert den `Kosten-Tab`. Zusätzlich zu den Standard-Implementierungen besitzt diese Klasse noch folgende Methoden:

- **double getRohtragwerkKosten()** gibt die eingegebenen Rohtragwerkkosten zurück.
- **double getUnterbauKosten()** gibt die eingegebenen Unterbaukosten zurück.
- **double getAusruistungskosten()** gibt die eingegebenen Ausrüstungskosten zurück.
- **void deactivateUnterbau()** deaktiviert das Eingabefeld `Unterbau`. Diese Methode wird von der Combobox `Rohtragwerk` im `Basis-Tab` verwendet.

- **void activateUnterbau()** aktiviert das Eingabefeld *Unterbau*. Diese Methode wird von der Combobox *Rohtragwerk* im Basis-Tab verwendet.

UI_Report.java Der Report-Tab wird durch die UI_Report-Klasse generiert und ermöglicht die individuelle Gestaltung des Endberichts. Dafür stehen verschiedene Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung, die durch folgende Methoden ausgelesen werden können:

- **boolean cbEinzelKostenIsSelected()** zeigt an, ob die Checkbox *Kosten der Brückenbestandteile* aktiviert ist.
- **boolean cbFixerMassstabEinzelIsSelected()** zeigt an, ob die Checkbox *fixer Maßstab* bei *Kosten der Brückenbestandteile* aktiviert ist.
- **boolean cbFixerMassstabSummeIsSelected()** zeigt an, ob die Checkbox *fixer Maßstab* bei *Gesamtkosten* aktiviert ist.
- **boolean cbKostensummeIsSelected()** zeigt an, ob die Checkbox *Gesamtkosten* aktiviert ist.
- **double getFixerMassstabEinzel()** gibt den eingegebenen Wert bei *Gesamtkosten* zurück.
- **double getFixerMassstabSumme()** gibt den eingegebenen Wert bei *Kosten der Brückenbestandteile* zurück.

UI_Results.java Die UI_Results-Klasse zeigt die Endergebnisse im Ergebnisse-Tab. Diese Klasse hat neben den Standardimplementierungen eine Hauptmethode **void updateResults()**, die für die Aktualisierung der Ergebnisse zuständig ist. Zuerst wird die *calc()*-Methode von der *ResultCalc*-Klasse aufgerufen, um die Ergebnisse zu aktualisieren und danach im Userinterface nacheinander in die vorgegebenen Felder damit aktualisiert.

PopUp_Chart.java Die PopUp_Chart-Klasse ist zuständig für die PopUp-Fenster mit den Diagrammen, die aus dem Ergebnisse-Tab geöffnet werden können. Diese Klasse wurde von einem JFrame-Klasse abgeleitet und besitzt somit alle Eigenschaften dieser Klasse. PopUp_Chart besitzt eine Methode *JFreeChart createChart(String title, final XYDataset dataset, String[] legend, double markerValue, float staerke, double massstab)*, die die JFreeChart-Grafik generiert. Hierbei werden folgende Werte übergeben:

- **String title** übergibt den Titel der Grafik.
- **final XYDataset dataset** übergibt die einzelnen Werte der zu darstellenden Kurve.
- **String[] legend** übergibt ein Array an Legenden, die, zugehörig zu den übergeben Kurven, die Beschreibung der Kurve beinhaltet.

- **double markerValue** übergibt den Wert, wo die senkrechte Markierung in der Grafik platziert werden soll.
- **float staerke** übergibt die Strichstärke der Kurven.
- **double masstab** übergibt den Maßstab und somit den Maximalwert der Grafik, der noch angezeigt werden kann.

UI_Main.java Die UI_Main-Klasse ist das grundlegende Fenster, in das alle Tabs, Buttons, usw. hineingelegt werden. Hier werden die Pulldown-Menüs, die Tab-Grundstruktur und die Symbolleiste generiert. Weiters stehen noch folgende Funktionen zur Verfügung:

- **void setTabElement(int index, boolean enabled)** aktiviert bzw. deaktiviert den gewünschten Tab.
- **void shutdown()** beendet das Programm und fragt, ob gesichert werden soll, falls noch nicht gesichert wurde.

4.2 Faktorengenerator faktorgenerator.jar

Beim Faktorengenerator-Programm wurde eine Klassentrennung in Arbeitsklassen und Userinterface-Klassen angewandt. Folgende Unterkapitel erklären die einzelnen Klassen.

4.2.1 Arbeitsklassen

StarterFaktor.java Die StarterFaktor-Klasse beinhaltet den Code zum Starten des Programms. Dabei sind zwei unterschiedliche Startvarianten möglich:

- **void restart()** Das Programm startet mit der grundlegenden Vorlage Datei *LZKB_Vorlage.lzkb*, welche in Unterkapitel 4.3 näher erklärt wird.
- **void restart(File file)** Das Programm startet mit der angegebenen, gesicherten Datei.

Faktor_LZKBSaver.java Die Faktor_LZKBSaver-Klasse dient zur Abspeicherung der erstellten und zum Öffnen der abgespeicherten Brückendaten, bzw. wird auch beim Öffnen einer bestehenden Brückedatei eine Versionsüberprüfung durchgeführt. Da verschiedene Versionen des LZKB-Programms im Umlauf sind, können nur abgespeicherte Brücken mit einer Versionsnummer kleiner gleich der Programm-Versionsnummer geöffnet werden. Die Faktor_LZKBSaver.java Klasse kann nun auf zwei unterschiedliche Arten aufgerufen werden:

- **Faktor_LZKBSaver()** wird aufgerufen, wenn eine neue Brückendatei geöffnet wird. Die file-Variable in der die Stelle der Brückendatei gespeichert ist, bleibt dabei noch leer.
- **Faktor_LZKBSaver(File file)** wird aufgerufen, wenn eine bestehende Brückendatei geöffnet wird. Die file-Variable, in der die Stelle der Brückendatei gespeichert ist, wird mit der übergebenen Variable beschrieben.

Diese Klasse beinhaltet außerdem noch folgende Methoden:

- **void openNew()** führt die Methode **restart()** von der Klasse `Starter.java` aus.
- **void open()** öffnet ein FileChooser-Fenster, führt der Bestätigung **restart(file)** von der Klasse `FaktorStarter.java` aus und öffnet somit die angegebene Datei *file*. Außerdem wird hier die Versionsüberprüfung durchgeführt.
- **boolean versionOK(File file)** Versionsüberprüfung mit Rückgabewert, ob die Version der Brückendatei gleich der Version des Programms ist.
- **updateVersion()** speichert die Brücke mit der richtigen Versionsnummer ab.
- **void save()** speichert die Brückendatei ab.
- **void saveAs()** öffnet ein FileChooser-Fenster und speichert nach der Bestätigung die Brückendatei am gewünschten Ort ab.

4.2.2 Userinterface-Klassen

Faktor_UI_Faktoren.java Die `Faktor_UI_Faktoren`-Klasse beinhaltet den Code zur Darstellung des Eingabefeldes, mit dem die Faktoren hinzugefügt, geändert oder gelöscht werden können. Dazu sind bestimmte Methoden der Klasse zuständig:

- **Bruecke getBruecke()** gibt die Brückendaten mit den geänderten Faktoren zurück.
- **removeFaktor(int faktorID)** entfernt von der Brückendaten einen Faktor mit der ID *faktorID*.
- **addFaktor()** fügt einen neuen, leeren Faktor zur Faktorenliste hinzu.
- **moveUpFaktor(int faktorID)** tauscht betroffenen Faktoren mit der ID *faktorID* mit dem darüberliegenden aus.
- **moveDownFaktor(int faktorID)** tauscht den betroffenen Faktoren mit der ID *faktorID* mit dem darunterliegenden aus.
- **void updateFaktors()** liest alle Felder nochmal aus und beschreibt die Faktorenwerte mit den veränderten bzw. unveränderten Werten.

- **void actionPerformed(ActionEvent e), void stateChanged(ChangeEvent e), void focusGained(FocusEvent e) und void focusLost(FocusEvent e)** sind ActionListener, die die Methode *updateFaktors*, bei Veränderung von Eingabewerten, ausführen.

Faktor_UI.Main.java Die Faktor_UI.Main-Klasse ist die zugrunde liegende Klasse, die alle Panels, Buttons, Menüs, usw. beinhaltet. Außerdem steht noch die Methode **void shutdown()** zur Verfügung, die das Programm beendet und nachfragt, ob gesichert werden soll, falls noch nicht gesichert wurde.

4.3 Dateien für grundlegende Einstellungen

Für die Grundeinstellungen des Programms sind die nachfolgenden Dateien wichtig. Sie beinhalten die Werte für die Berechnung der Endwerte bzw. die Standardwerte einer Brücke. Als Speicherformat wurde XML gewählt.

dauerproz.xml In der *dauerproz.xml*-Datei sind alle Werte für die Lebensdauer und des Prozentsatzes der jährlichen Unterhaltskosten des Unterbaus, des Rohtragwerks sowie der Ausrüstungsbestandteile für Eisenbahnbrücken, welche in den Tabellen 2.1 und 2.2 zu sehen sind, gespeichert.

Abbildung 4.1 zeigt wie die *dauerproz.xml*-Datei aufgebaut ist: Grundlegend wurde ein komplexer Datentyp *dauerProz* angelegt, der einen Namen und Werte für *km* sowie *kp* speichern kann. Da das Rohtragwerk Unterkategorien besitzt, wurde ein zusätzlicher komplexer Datentyp *rohtragwerkList* eingeführt. Dieser besitzt die vier Namen der Unterkategorien und die dazugehörigen Unterkategorien, die wiederum als *dauerProz*-Datentyp ausgelegt sind.

LZKB.Vorlage.lzkb Die *LZKB.Vorlage.lzkb*-Datei dient als Vorlagedatei, wenn keine abgespeicherte Datei geöffnet wird. Sie gibt vor, welche Standardwerte beim Öffnen einer neuen Brücke ausgewählt sind. Die Abbildung 4.2 zeigt die grafische Darstellung der *LZKB.Vorlage.lzkb*-Datei mit folgenden Inhalten bzw. Tags:

bruecke Dieser Tag ist der Wurzeltag des abgespeicherten Brückendokuments und beinhaltet folgende Eigenschaften:

- **version** Versionsnummer des LZKB-Programms mit der die Datei abgespeichert wurde.
- **name** Name der Brücke.
- **beschreibung** Beschreibung der Brücke.

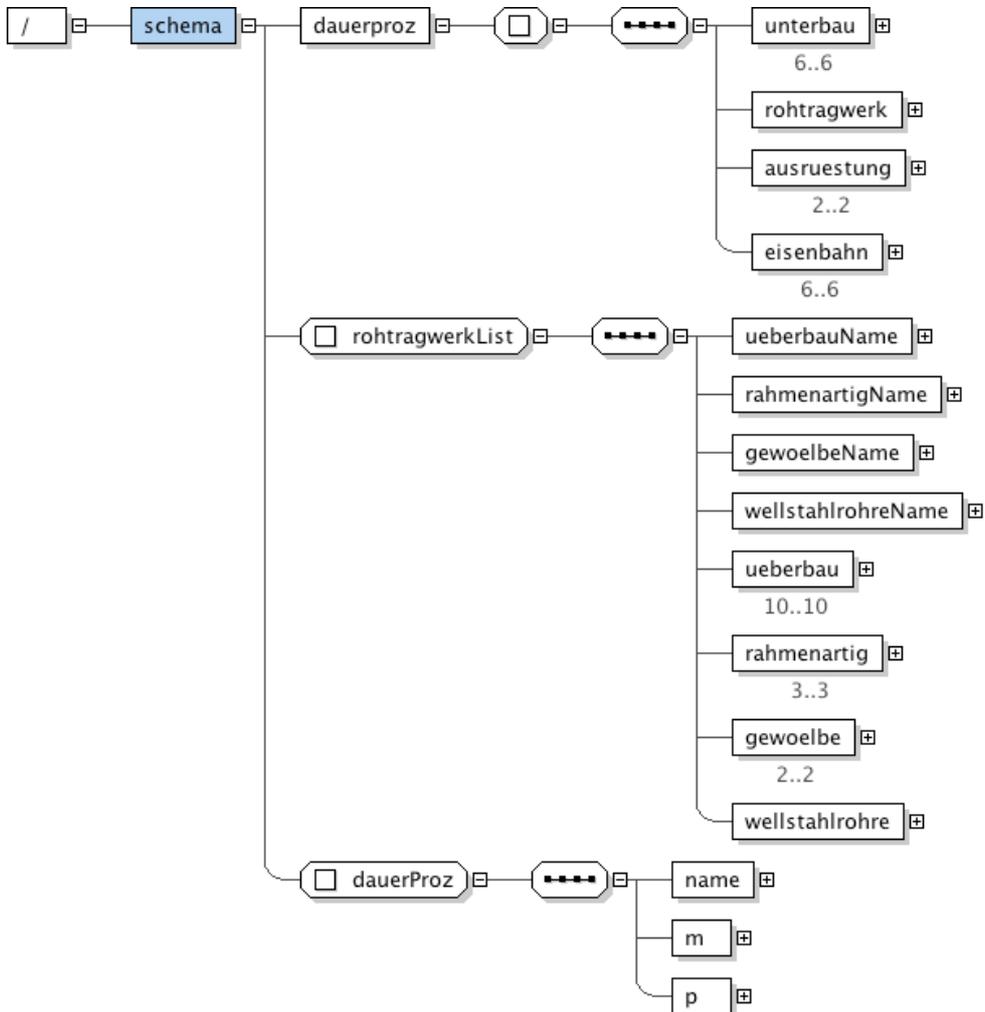


Abbildung 4.1: Grafische Darstellung von dauerproz.xml - Schema

- **betrachtungsjahr** Betrachtungsjahr der Brücke.
- **errichtungsjahr** Errichtungsjahr der Brücke.
- **unterbau** Index der Unterbau-Combobox (Werte von 0 für *Bitte Auswählen* bis 6 für *aus Holz*).
- **rohtragswerk** Index der beiden Rohtragswerk-Comboboxen, dabei setzt sich der Wert aus 0 für *Bitte Auswählen* bis 4 für *Wellstahlrohre* addiert mit dem zweiten Pulldown-Menü multipliziert mit 100. Würde man Überbau aus Stahl wählen (also 1 und 4), dann wäre der Indexwert $1 + 4 \cdot 100 = 104$.
- **unterbauKosten** Wert der Kosten des Unterbaus, der im Kosten-Tab eingegeben wurde.

- **rohtragswerkKosten** Wert der Kosten des Rohtragswerks, der im Kosten-Tab eingegeben wurde.
- **ausruestungKosten** Wert der Kosten, der Ausrüstung der im Kosten-Tab eingegeben wurde.
- **eisenbahn** Zustand der *spezielle Faktoren für Eisenbahnbrücken*-Checkbox.
- **faktoren** Zustand der *Auf- / Abminderungsfaktoren*-Checkbox.
- **fixeLebensdauer** Zustand der *fixe Brückenlebensdauer*-Checkbox.
- **fixeLebensdauerWert** Wert der fixen Brückenlebensdauer.
- **berechnungsart** Index der *Art der Berechnung*-Combobox (Werte von 0 für *Bitte Auswählen* bis 3 für *Ablösemodell*).
- **faktor** [1...∞] eine Liste von Faktoren mit mindestens einem Faktor, wobei jeder einzelne folgende Eigenschaften besitzt:
 - **name** Name des Faktors.
 - **gueltigFuer** komplexer Datentyp mit drei Gültigkeitswerte für die Kategorien Unterbau, Rohtragswerk und Ausrüstung.
 - **faktorM** komplexer Datentyp mit Faktor für die Lebensdauer m und dessen Zustand, ob dieser aktiv ist.
 - **faktorP** komplexer Datentyp mit Faktor für den Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten p und dessen Zustand, ob dieser aktiv ist.
 - **linear** komplexer Datentyp mit den Werten für den Anfangswert, den Endwert und der Einheit bei linearer Veränderlichkeit des Faktors, sowie ob dieser aktiv ist.
 - **brueckeWert** eingestellter Wert bei linearer Veränderlichkeit.
 - **brueckeFaktorAktiv** genereller Aktivierungszustand des Faktors.
- **schutzerdungsanlage** ist ein komplexer Datentyp *eisenbahnFaktor*, und beinhaltet die Werte für die Schutzerdungsanlage aus dem Eisenbahn-Tab.
- **fahrleitungseinrichtung** ist ein komplexer Datentyp *eisenbahnFaktor*, und beinhaltet die Werte für die Fahrleitungseinrichtung und sonstigen Verankerungen von Leitungen aus dem Eisenbahn-Tab.
- **beruehrungsschutz** ist ein komplexer Datentyp *eisenbahnFaktor*, und beinhaltet die Werte für die Berührungsschutzanlagen aus dem Eisenbahn-Tab.
- **entgleisschutz** ist ein komplexer Datentyp *eisenbahnFaktor*, und beinhaltet die Werte für die Entgleisschutz aus dem Eisenbahn-Tab.

eisenbahnFaktor komplexer Datentyp für die speziellen Faktoren bei Eisenbahnbrücken, mit folgenden Eigenschaften:

- **index** Wert der Combobox (nur notwendig bei *Berührungsschutzanlagen*)
- **wert** im Eisenbahn-Tab eingegebener Wert des betreffenden Eisenbahnfaktors
- **faktorAktiv** Aktivierungszustand des Eisenbahnfaktors

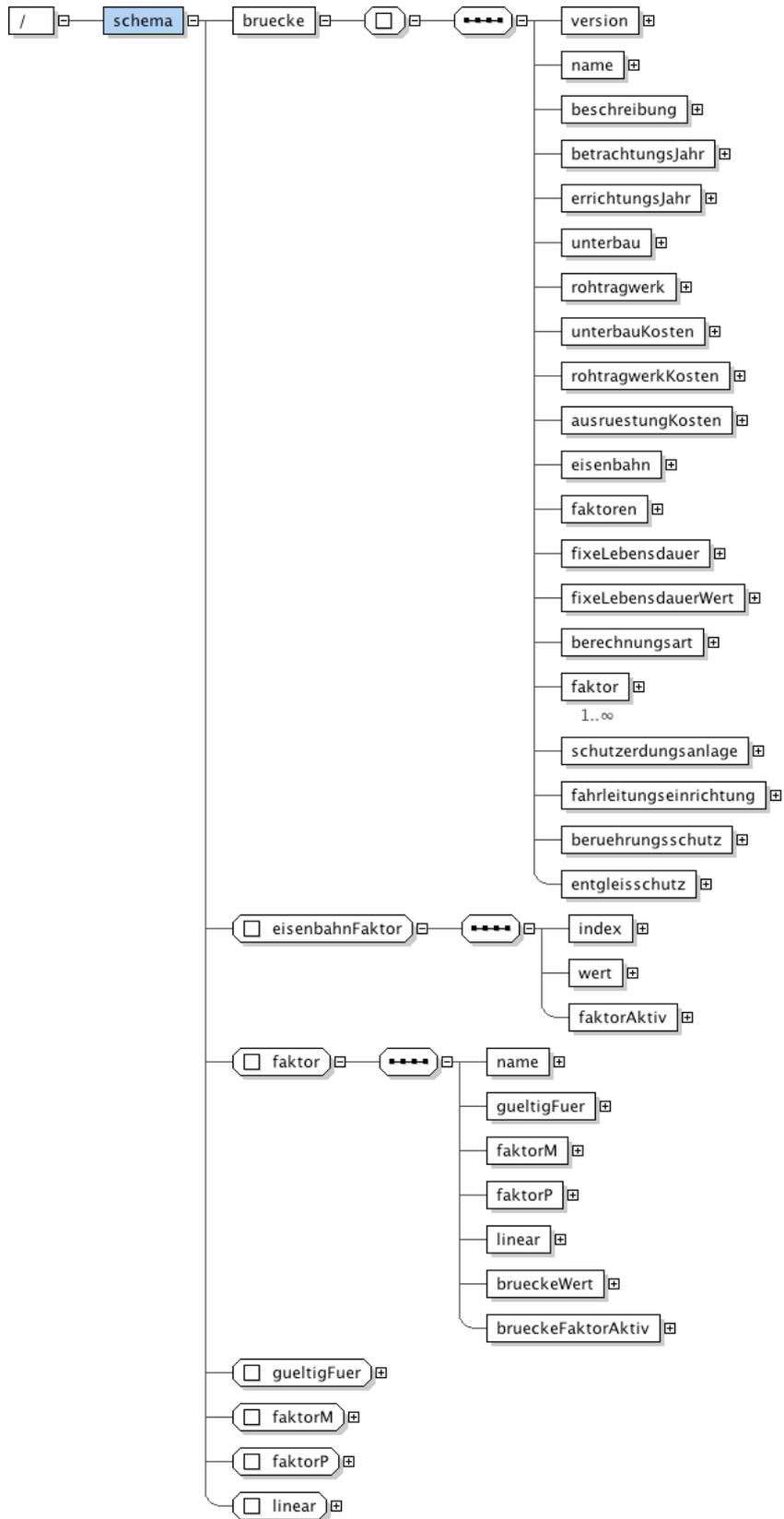


Abbildung 4.2: Grafische Darstellung von LZKB_Vorlage.xml - Schema

Kapitel 5

Ergebnisse

In diesem Kapitel werden Berechnungsbeispiele gezeigt.

5.1 Beispiel 1: Kostenverlauf unverzinst

Das erste Beispiel zeigt den unverzinsten Kostenverlauf einer Brücke. Dazu wurden folgende Parameter gewählt:

- **Rohtragwerk:** Überbau aus Stahlbeton
- **Unterbau:** aus Stahlbeton
- **Errichtung der Brücke:** 2008
- **Betrachtungsjahr:** 2035
- **Unterbaukosten:** Euro 1.000.000,-
- **Rohtragwerkskosten:** Euro 1.200.000,-
- **Ausrüstungskosten:** Euro 900.000,-
- **Berechnungsmethode:** Kostenverlauf unverzinst

In Abbildung 5.1 sieht man, welche Einstellungen getroffen wurden. In den beiden rechten Spalten neben den Comboboxen werden automatisch mit der Auswahl der Materialien die Lebensdauer und Prozentsätze für die jährlichen Unterhaltskosten angezeigt. Diese Werte werden aus der Tabelle 2.1 bezogen. Die beiden Checkboxen werden nicht aktiviert, da keine Auf- und Abminderungsfaktoren benötigt werden, bzw. es sich um keine Eisenbahnbrücke handelt. Diese verursachen auch die Deaktivierung der Tabs Faktoren und Eisenbahn, gekennzeichnet durch die graue Hinterlegung.

	m[a]	p[%]
Überbau: Tragkonstruktionen (Balken, Platten, Bögen, Kastenquerschnitte) aus Stahlbeton	70	0.8
Unterbau: aus Mauerwerk, Beton, Stahlbeton	110	0.5

Abbildung 5.1: Basis-Tab von Beispiel 1

In Abbildung 5.2 wird der Kosten-Tab dargestellt, in dem die Gesamtkosten für die Brückenbestandteile eingegeben werden. Hier ist auch der Hinweis, dass die Ausrüstungsgegenstände in 30% und 70% aufgeteilt werden, um eine Unterscheidung bei Lebensdauer und jährliche Unterhaltskosten gewährleisten zu können. 30% der Ausrüstungskosten haben eine Lebensdauer von 20 Jahren und einen Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten von 1,5%. 70% der Ausrüstungskosten haben eine Lebensdauer von 30 Jahren und einen Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten von 1,2%.

In Abbildung 5.3 werden nun die Ergebnisse für die Beispielbrücke angezeigt. Im oberen Teil werden immer automatisch die Errichtungskosten, die dazugehörigen jährlichen Unterhaltskosten und die Lebensdauern berechnet. In diesem Fall sind die Lebensdauern die Werte, die auch im Basis-Tab zu sehen waren, da keine Auf- und Abminderungsfaktoren gewählt wurden. Die Ausrüstungskosten werden in 30% und 70% der Gesamtausrüstungskosten unterteilt. Im mittleren Teil wird die Berechnungsmethode, das Errichtungsjahr, das Betrachtungsjahr und das Endjahr angezeigt. Im unteren Teil des Resultate-Tabs sieht man die Ergebnisse für die einzelnen Brückenbestandteile bzw. die Summe dieser für das eingestellte Betrachtungsjahr und Endjahr.

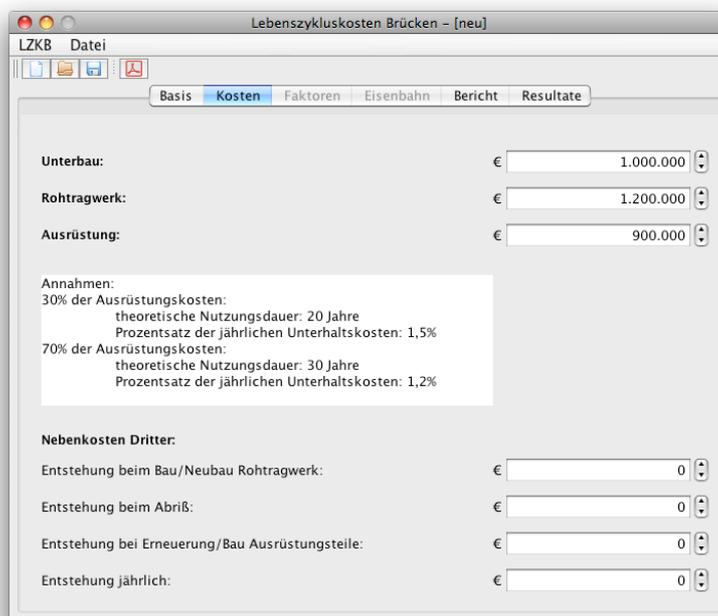


Abbildung 5.2: Kosten-Tab von Beispiel 1

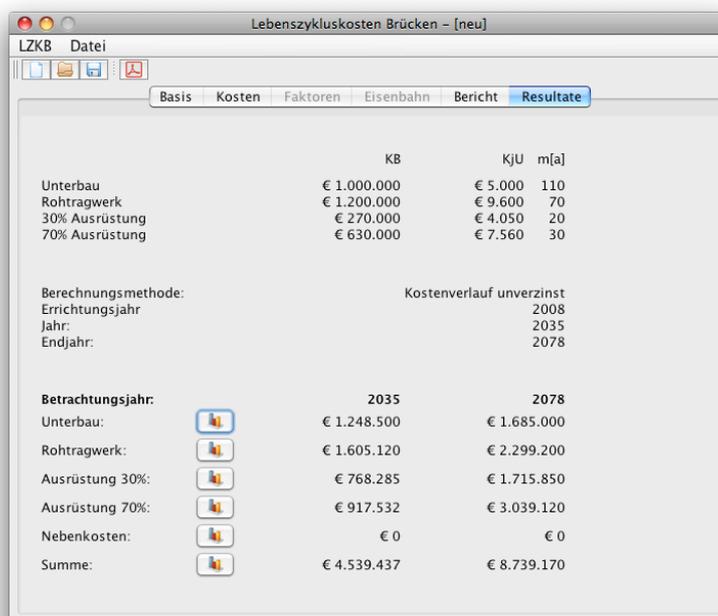


Abbildung 5.3: Resultate-Tab von Beispiel 1

5.2 Beispiel 2: Lebenszyklusmodell

Als zweites Beispiel wurde das Lebenszyklusmodell gewählt. Als Einstellungen dienen wieder die gleichen wie bei Beispiel 1:

- **Rohtragwerk:** Überbau aus Stahlbeton
- **Unterbau:** aus Stahlbeton
- **Errichtung der Brücke:** 2008
- **Unterbaukosten:** Euro 1.000.000,-
- **Rohtragwerkskosten:** Euro 1.200.000,-
- **Ausrüstungskosten:** Euro 900.000,-
- **Berechnungsmethode:** Lebenszyklusmodell

Die Einstellung des Basis-Tabs werden nun wie bei Beispiel 1 getroffen, mit einzigen Unterschied, dass bei der Combobox **Berechnungsmethode Lebenszyklusmodell** ausgewählt wird und das Betrachtungsjahr nicht ausgewählt werden muss (siehe Abbildung 5.4), da beim Lebenszyklusmodell nur das Anfangs- und das Endjahr wichtig ist. Der Kosten-Tab ist komplett ident zum Beispiel 1 in Abbildung 5.2. In Abbildung 5.5 sieht man nun die Ergebnisse von Beispiel 2.

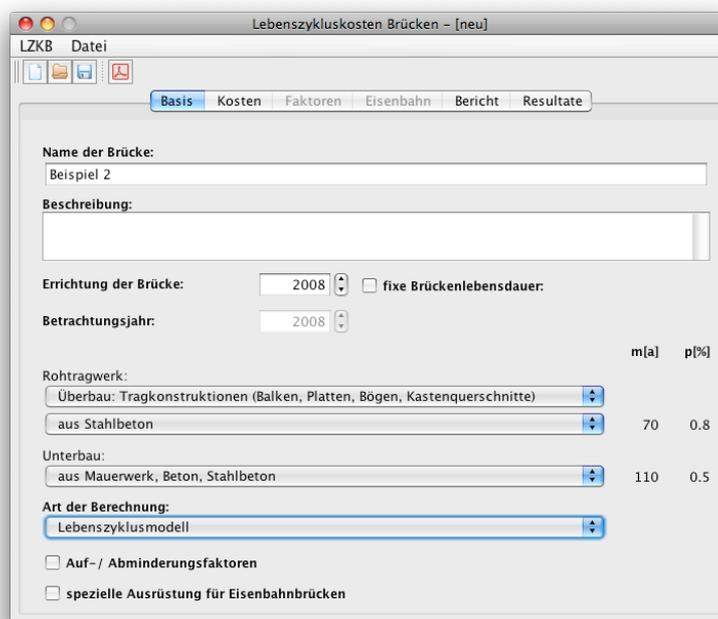


Abbildung 5.4: Basis-Tab von Beispiel 2

Wie schon zuvor erwähnt wird hier im unteren Bereich der Anfangswert, also

	KB	KJU	m[a]
Unterbau	€ 1.000.000	€ 5.000	110
Rohtragwerk	€ 1.200.000	€ 9.600	70
30% Ausrüstung	€ 270.000	€ 4.050	20
70% Ausrüstung	€ 630.000	€ 7.560	30

Berechnungsmethode:	Lebenszyklusmodell	
Errichtungsjahr:	2008	
Jahr:	2008	
Endjahr:	2078	

Betrachtungsjahr:	2008	2078
Unterbau:	€ 1.241.514	€ 19.332.378
Rohtragwerk:	€ 1.582.459	€ 24.641.443
Ausrüstung 30%:	€ 671.358	€ 10.454.129
Ausrüstung 70%:	€ 1.226.008	€ 19.090.927
Nebenkosten:	€ 0	€ 0
Summe:	€ 4.721.338	€ 73.518.877

Abbildung 5.5: Resultate-Tab von Beispiel 2

der Barwert und der Endwert der einzelnen Kostenkategorien berechnet und angezeigt. Oben sieht man die eingegebenen Kostenwerte auch aufgeteilt in Unterbau, Rohtragwerk und 30% sowie 70% der Ausrüstungskosten bzw. die jährlichen Unterhaltskosten und Lebensdauern der einzelnen Positionen. Der mittlere Bereich beinhaltet beim Lebenszyklusmodell Das Errichtungs- und das Endjahr sowie die Berechnungsmethode.

5.3 Beispiel 3: Ablösemodell

Beispiel 3 zeigt die Berechnungsmethode Ablösemodell. Als Einstellungen dienen wieder die gleichen wie bei Beispiel 1, mit dem Unterschied, dass bei Berechnungsmethode *Ablösemodell* ausgewählt werden muss:

- **Rohtragwerk:** Überbau aus Stahlbeton
- **Unterbau:** aus Stahlbeton
- **Errichtung der Brücke:** 2008
- **Betrachtungsjahr:** 2035
- **Unterbaukosten:** Euro 1.000.000,-
- **Rohtragwerkskosten:** Euro 1.200.000,-
- **Ausrüstungskosten:** Euro 900.000,-
- **Berechnungsmethode:** Ablösemodell

	m[a]	p[%]
Rohtragwerk:		
Überbau: Tragkonstruktionen (Balken, Platten, Bögen, Kastenquerschnitte)		
aus Stahlbeton	70	0.8
Unterbau:		
aus Mauerwerk, Beton, Stahlbeton	110	0.5

Abbildung 5.6: Basis-Tab von Beispiel 3

In Abbildung 5.6 sieht man den Basis-Tab mit den eingestellten Werten. Beim Ablösemodell ist das Betrachtungsjahr ein wichtiger Eingabewert, da durch diesen das Ablösejahr bekanntgegeben wird und somit die Kosten je nach Jahr unterschiedlich sind. Der Kosten-Tab ist komplett ident zum Beispiel 1 in Abbildung 5.2. In Abbildung 5.7 werden die Ergebnisse gezeigt. Im oberen Bereich

	KB	KJU	m[a]
Unterbau	€ 1.000.000	€ 5.000	110
Rohtragswerk	€ 1.200.000	€ 9.600	70
30% Ausrüstung	€ 270.000	€ 4.050	20
70% Ausrüstung	€ 630.000	€ 7.560	30

Berechnungsmethode: Ablösmodell (immer wiederkehrende Erneuerung)
 Errichtungsjahr: 2008
 Jahr: 2035
 Endjahr: 2078

Betrachtungsjahr:	2035	2078
Unterbau:	€ 394.738	€ 1.526.715
Rohtragswerk:	€ 572.686	€ 1.931.057
Ausrüstung 30%:	€ 540.605	€ 420.431
Ausrüstung 70%:	€ 1.387.903	€ 617.145
Nebenkosten:	€ 0	€ 0
Summe:	€ 2.895.932	€ 4.495.347

Abbildung 5.7: Resultate-Tab von Beispiel 3

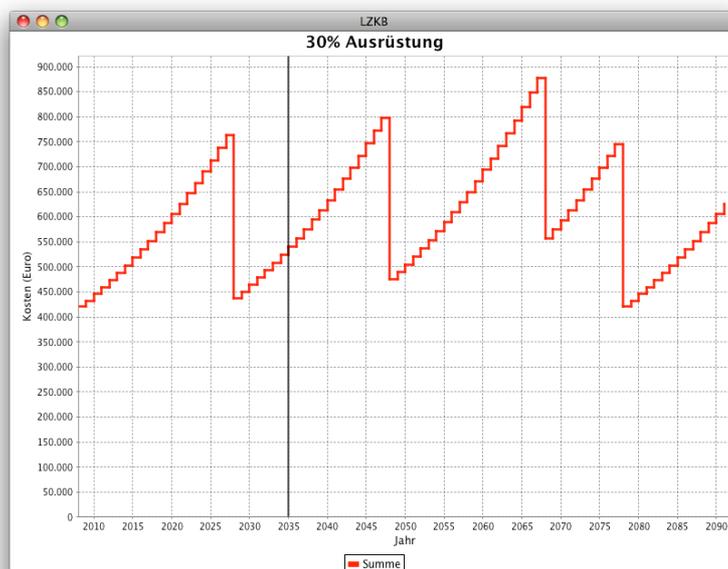


Abbildung 5.8: Ergebnis PopUp-Fenster der Ausrüstungsteile 30% von Beispiel 3

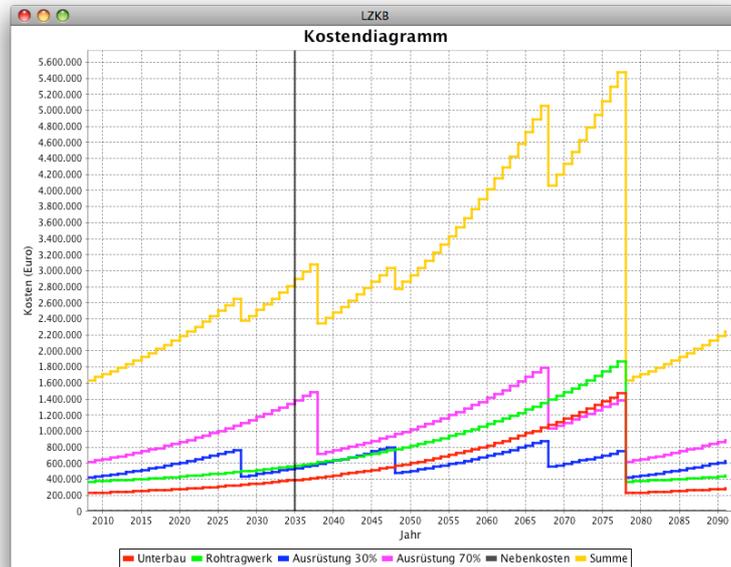


Abbildung 5.9: Ergebnis PopUp-Fenster der Summe von Beispiel 3

sind die grundlegenden Werte wie Errichtungskosten, jährliche Unterhaltskosten und Lebensdauer der einzelnen Kategorien zu sehen. Im mittleren Bereich sind das Errichtungsjahr, das Betrachtungsjahr und das Endjahr sowie die Berechnungsmethode zu sehen. Im unteren Bereich sind die berechneten Werte für das Betrachtungsjahr und das Endjahr aufgelistet. Die zuvor erwähnten, von Jahr zu Jahr unterschiedlichen Werte für die Kosten, können mit den Buttons, links von den Ergebnissen, durch einer Grafik veranschaulicht werden. Abbildung 5.8 zeigt den Verlauf der Ausrüstung 30%. Beim Jahr 2035 ist der Marker mittels einer dicken, vertikalen Linie gesetzt. Abbildung 5.9 zeigt die Kostenverläufe der einzelnen Kategorien (Unterbau, Rohtragwerk, Ausrüstung 30% und Ausrüstung 70%) sowie die Summe dieser. Der Betrachtungszeitraum der Diagramme bei der Berechnungsmethode Ablösemodell wird immer mit ca. 20% über der Lebensdauer der Brücke dargestellt, um den Verlauf des nächsten Brückenzyklus zu zeigen.

5.4 Beispiel 4: Kostenverlauf unverzinst mit Auf- und Abminderungsfaktoren

Beispiel 4 zeigt ein einfaches Beispiel auf Grundlage der Berechnungsmethode *Kostenverlauf unverzinst* mit Verwendung der Auf- und Abminderungsfaktoren. Als Basis werden folgende Einstellungen verwendet:

- **Rohtragwerk:** Überbau aus Stahlbeton
- **Unterbau:** aus Stahlbeton
- **Errichtung der Brücke:** 2008
- **Betrachtungsjahr:** 2035
- **Unterbaukosten:** Euro 1.000.000,-
- **Rohtragwerkskosten:** Euro 1.200.000,-
- **Ausrüstungskosten:** Euro 900.000,-
- **Berechnungsmethode:** Kostenverlauf unverzinst
- **Auf- und Abminderungsfaktoren** aktiviert
 - **Faktor: Dauerhaftigkeit von Widerlager** aktiviert
 - **Faktor: Betondeckung** aktiviert mit 4,5 cm
 - **Faktor: linksschiefe Lagerung** aktiviert

Man kann erkennen, dass sich der Faktoren-Tab mit Aktivierung der Checkbox *Auf- / und Abminderungsfaktoren* im Basis-Tab auch aktiviert und dadurch anwählbar ist. Der Kosten-Tab ist komplett ident zum Beispiel 1 in Abbildung 5.2. Der Faktoren-Tab bietet nun die Möglichkeit die Lebensdauer und den Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten mittels Faktoren zu verändern.

Der erste Faktor im Faktoren-Tab in Abbildung 5.11 mit dem Namen *Dauerhaftigkeit von Widerlager* ändert den Prozentsatz der jährlichen Unterhaltskosten p der Ausrüstungsteile C um 10%, also mit einem Faktor von 1,1. Hätte man nun einen weiteren Faktor, der auch den Prozentsatz p der Ausrüstungsteile C ändert, so würden beide Faktoren mit dem ursprünglichen p multipliziert werden.

Der zweite Faktor betrifft die *Betondeckung*. Hier wird von einer Standard-Betondeckung von 3,5 cm ausgegangen. Eine Erhöhung dieser führt zu einer Erhöhung der Lebensdauer sowie zu einer Senkung der jährlichen Unterhaltskosten des Unterbaus. Die Dicke ist frei wählbar zwischen 3,5 und 6,0 cm und ändert sich linear zwischen 1,0 und 1,1 für den Faktor der Lebensdauer k_m bzw. zwischen 1,0 und 0,85 für den Faktor des Prozentsatzes der jährlichen Unterhaltskosten k_p . In diesem Fall wurde 4,5 cm gewählt und dies ergibt 1,04 für k_m bzw. 0,94 für k_p . Als dritter Faktor wurde noch die *linksschiefe Lagerung* gewählt, die zu einer Verminderung der Lebensdauer bzw. Erhöhung der jährlichen Unterhaltskosten des Rohtragwerks führt.

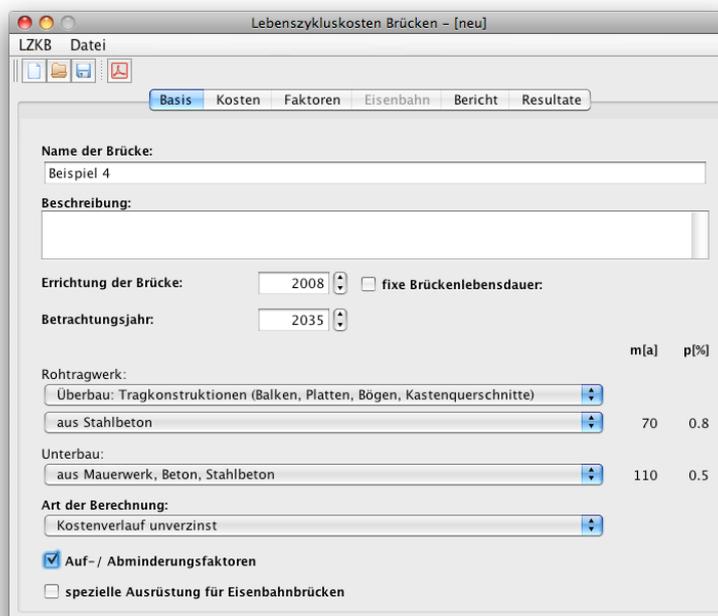


Abbildung 5.10: Basis-Tab von Beispiel 4

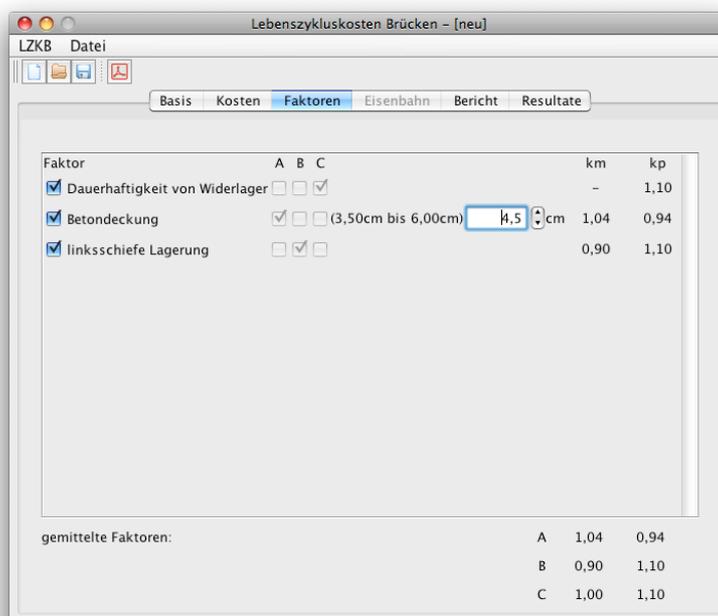
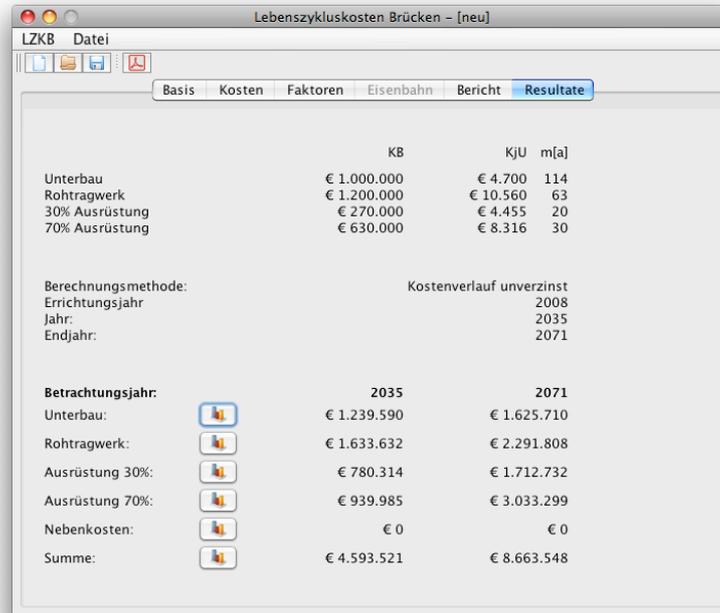


Abbildung 5.11: Faktoren-Tab von Beispiel 4



	KB	KjU	m[a]
Unterbau	€ 1.000.000	€ 4.700	114
Rohtragwerk	€ 1.200.000	€ 10.560	63
30% Ausrüstung	€ 270.000	€ 4.455	20
70% Ausrüstung	€ 630.000	€ 8.316	30

Berechnungsmethode:	Kostenverlauf unverzinst	
Errichtungsjahr	2008	
Jahr:	2035	
Endjahr:	2071	

Betrachtungsjahr:	2035	2071
Unterbau:	€ 1.239.590	€ 1.625.710
Rohtragwerk:	€ 1.633.632	€ 2.291.808
Ausrüstung 30%:	€ 780.314	€ 1.712.732
Ausrüstung 70%:	€ 939.985	€ 3.033.299
Nebenkosten:	€ 0	€ 0
Summe:	€ 4.593.521	€ 8.663.548

Abbildung 5.12: Resultate-Tab von Beispiel 4

Im Resultate-Tab in Abbildung 5.12 sieht man nun die berechneten Werte. Der Unterbau hat eine Lebensdauer von 110 Jahren, durch den Faktor *Betondeckung* erhöhte sich dieser Wert auf 114 Jahre. Die Lebensdauer des Rohtragwerks sinkt von 70 Jahre auf 63 Jahre auf Grund des Faktors für die *linksschiefe Lagerung* von 0,9. Die Lebensdauern der einzelnen Ausrüstungsteile bleiben unverändert, da diese von keinem Faktor betroffen sind. Als Lebensdauer der Brücke wird nun der niedrigere Wert von Unterbau und Rohtragwerk genommen und beträgt somit 63 Jahre. Die jährlichen Unterhaltskosten K_{jU} haben sich auch durch die Zuhilfenahme der Faktoren verändert. Beim Unterbau sinkt der Wert von $1.000.000 \cdot 0,005 = 5.000$ auf 4.700, da durch die veränderte Betondeckung dieser Wert mit 0,94 multipliziert wird. K_{jU} für das Rohtragwerk verändert sich von $1.200.000 \cdot 0,008 = 9.600$ auf 10.560 durch den Faktor 1,1 verursacht durch die *linksschiefe Lagerung*. Die jährlichen Unterhaltskosten der Ausrüstungsteile ohne Berücksichtigung der Faktoren errechnen sich wie folgt:

- Ausrüstung 30% = $900.000 \cdot 0,30 \cdot 0,015 = 4.050$
- Ausrüstung 70% = $900.000 \cdot 0,70 \cdot 0,012 = 7.560$

Durch den Faktor *Dauerhaftigkeit von Widerlagern* erhöhen sich die jährlichen Unterhaltskosten um 10% auf 4.455 für Ausrüstung 30% sowie auf 8.316 für Ausrüstung 70%.

5.5 Beispiel 5: Änderung der Faktoren

Beispiel 5 beschäftigt sich mit den Faktoren. Soll eine Brückendatei zusätzliche, eigene Faktoren besitzen, muss dazu der Faktorgenerator aus Kapitel 3.2 verwendet werden. Dazu kann mit diesem Programm eine neue Datei erstellt oder eine vorhandene Datei bearbeitet werden. Abbildung 5.13 zeigt den Faktorge-

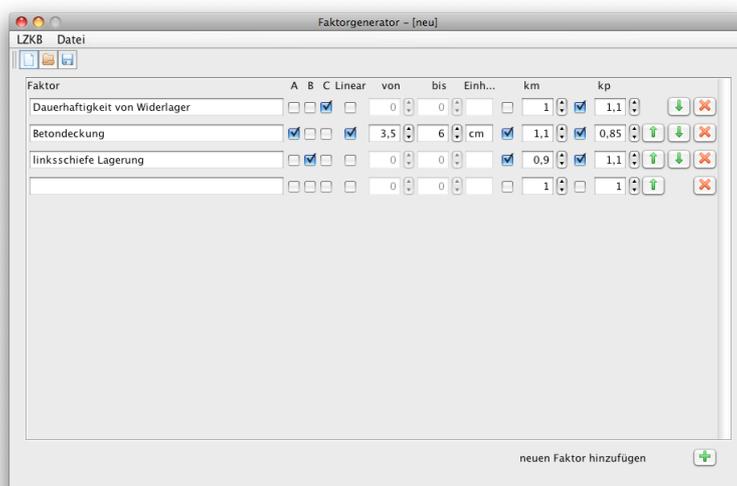


Abbildung 5.13: Faktorgenerator

nerator. Mit dem +-Button rechts unten wurde schon ein neuer, leerer Faktor hinzugefügt, der an vierter und letzter Stelle aufscheint. Die anderen Faktoren können nun beliebig mit den Auf- und Ab-Buttons verschoben werden. Die Eigenschaften, wie z.B. Name und betroffen Bauteilkategorie, können beliebig verändert werden. Wurden alle gewünschten Veränderungen vorgenommen, kann die Brückendatei mit dem Speichern-Button in der Symbolleiste oder in dem Pull-Down-Menü abgespeichert werden.

Kapitel 6

Zusammenfassung

Mit dem Programm zur Berechnung der Lebenszykluskosten von Brücken wurde ein Grundstein gesetzt, um eine einheitliche Berechnung der Kosten zu gewährleisten. Es ist somit ein Programm entstanden, das leicht zu bedienen, auf nahezu jedem Betriebssystem mit Hilfe der Java Runtime Environment startbar und hilfreich in der Kostenbewertung von Brücken ist.

Die drei implementierten Berechnungsmethoden

- Kostenverlauf unverzinst
- Lebenszyklusmodell
- Ablösemodell

bieten alle geforderten Informationen.

Mit der Methode *Kostenverlauf unverzinst* kann die Entstehung der Kosten (Errichtungskosten, jährliche Unterhaltskosten, Abbruchkosten) dargestellt werden. Diese Werte sind jedoch nur informative Werte, da die Verzinsung nicht berücksichtigt wird.

Beim *Lebenszyklusmodell* hingegen werden die tatsächlichen, verzinsten Kosten dargestellt. Bei diesem Modell werden der Bar- und Endwert berechnet, da mit diesen Werten die Kosten der Brücke bewertet werden können. Zusätzliche Grafiken illustrieren den Verlauf zwischen Bar- und Endwert. Dieses Modell nimmt als Grundlage den Kostenverlauf unverzinst, der nur noch zusätzlich jährlich mit 4% verzinst wird.

Das *Ablösemodell* wird angewandt, wenn eine Brücke den Besitzer wechseln soll und somit eine Ablöse fällig ist.

Das Programm hilft bei Fällen wie der Ablösung einer Brücke zwischen zwei Vertragspartnern, dem Vergleich mehrerer Varianten, der Entscheidung der In-

standsetzung einer sanierungsbedürftigen Bestandsbrücke oder dem Neubau der Brücke.

Das Userinterfacedesign ist an Standard-Computerprogramme orientiert und weist drei Bereiche auf: Pulldown-Menü, Symbolleiste und Tabbereich. Eine Auswahl der häufig gebrauchten Funktionen ist in der Symbolleiste zu finden. Im Tabbereich sind die einzelnen Tabs dargestellt, die zur Ein- und Ausgabe der Informationen über die Brücke dienen.

Da das Programm in der objektorientierten und plattformunabhängigen Programmiersprache Java programmiert wurde, ist es auch für die Zukunft gewappnet. Das Programm muss nicht neu kompiliert werden und ist somit auch in einem neuen Betriebssystem lauffähig. Damit verhindert man den funktionalen Tod dieses Programms.

Literaturverzeichnis

- [1] APACHE SOFTWARE FOUNDATION. Website, 1. Juli 2008. <http://xmlbeans.apache.org/>.
- [2] B. LOWAGIE: *iText in Action: Creating and Manipulating PDF*. Manning Publications Co., Greenwich, CT, USA, 2006.
- [3] B. LOWAGIE. Website, 1. Juli 2008. <http://www.lowagie.com/iText/>.
- [4] D. GILBERT: *The JFreeChart Class Library, Developer Guide 1.0.4*, 9. Februar 2007.
- [5] ECLIPSE FOUNDATION. Website, 1. Juli 2008. <http://www.eclipse.org>.
- [6] H. G. JODL, A. JURECKA, C. SCHRANZ und D. DEJMEK: *Programm-entwicklung Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB) Bericht*, 2008.
- [7] JIGLOO. Website, 1. Juli 2008. <http://www.cloudgarden.com/jigloo/>.
- [8] K. LENTZSCH. Website, 1. Juli 2008. <http://www.jgoodies.com/freeware/forms/>.
- [9] M. PETSCHACHER: *Gesamtkosten für Brücken - Stochastisches Alterungsmodell, Datenbank BAUT 5.5*, Oktober 2006.
- [10] M. WICKE, P. KIRSCH, W. STRANINGER und B. SCHARITZER: *Kostenmodell für den Funktionserhalt von Straßenbrücken*. Bauingenieur, 76, Februar 2001.
- [11] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY: *BridgeLCC 2.0*. Computerprogramm.
- [12] OBJECT REFINERY LIMITED. Downloadlink, 1. Juli 2008. <http://downloads.sourceforge.net/jfreechart/jfreechart-1.0.9.tar.gz>.
- [13] OBJECT REFINERY LIMITED. Website, 1. Juli 2008. <http://www.jfree.org/jfreechart/>.
- [14] R. SCHACH, J. OTTO, H. HÄUPL und M. FRITZSCHE: *Lebenszykluskosten von Brückenbauwerken*. Bauingenieur, 81, Juli/August 2006.
- [15] SOURCEFORGE INC. Website, 1. Juli 2008. <http://sourceforge.net>.
- [16] SUN MICROSYSTEMS. Website, 1. Juli 2008. <http://java.sun.com>.
- [17] ÖSTERREICHISCHE BUNDESBAHNEN ÖBB: *Richtlinie zur Berechnung der Erhaltungskosten und Ablösebeträge von Ingenieurbauwerken, Straßen und Wegen sowie Altbauten im Straßen- und Wegbau*, 2006.