

*Nachhaltigkeit und Innovation
in Baubetrieb und Tunnelbau*

Jürgen Schwarz [Hrsg.]

Adaption der Berechnung von Ablösungsbeträgen bei Brücken

DI Dr. Christian Schranz, MSc.*

Univ.-Prof. DI Dr. Dr. h.c. Hans Georg Jodl*

* Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, Technische Universität Wien, Österreich

Zusammenfassung

Eine Ablösung ist notwendig, wenn der Bauwerkserrichter nicht auch der Bauwerkserhalter ist. Die Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung bietet die Grundlage zur Berechnung von Ablösungsbeträgen. In dieser werden Verwaltungsvereinfachungen getroffen, z. B. einheitliche Ablösung von ganzen Bauteilgruppen und die Annahme der unbegrenzten Erhaltungspflicht. In dieser Arbeit wird ein Modell vorgestellt, das eine genauere Berechnung der Ablösungsbeträge der einzelnen Ausrüstungsteile sowie die Berücksichtigung einer Begrenzung der Erhaltungspflicht ermöglicht.

1 Einleitung

Im Zuge eines Forschungsprojekts im Auftrag der Österreichischen Bautechnik Vereinigung (jetzt: Österreichischen Vereinigung für Beton und Bautechnik) beschäftigten sich die Autoren mit der Entwicklung eines geeigneten Modells für die Ermittlung der Lebenszykluskosten einer Brücke [2], [4]. Dieses Modell mündete in das Computerprogramm LZKB [3], [4], welches zusätzlich die Berechnung von Ablösungsbeträgen inkludiert.

Die zu ermittelnden Kosten setzen sich dabei aus den (ev. mehrmals auftretenden) Erstellungskosten der Bauteile sowie aus den Unterhaltungskosten zusammen. Letztere werden mittels eines Prozentsatzes der Erstellungskosten als jährliche Instandhaltungskosten festgelegt. Als Grundlage für die Wahl der Nutzungsdauer sowie des Prozentsatzes dient die Ablöserichtlinie der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) [5], welche auf der deutschen Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung ABBV [1] basiert.

Das entwickelte Modell inkludiert zusätzlich Auf- und Abminderungsfaktoren für die Nutzungsdauer sowie den Prozentsatz der jährlichen Instandhaltungskosten. Diese Faktoren wurden auf Basis der RVS 15.01.11 [6] festgelegt. Somit ist eine genauere Berechnung der Lebenszykluskosten möglich. Diese Veränderungen wirken sich auch auf die Berechnung der Ablösungsbeträge aus.

2 Ablösemodell bei Brücken

Unter Ablösung wird die Ermittlung von „Ablösungsbeträgen“ bei Eingriffen in den Lebenszyklus von baulichen Anlagen verstanden, deren Errichter/Verursacher einer Veränderung nicht zugleich der Erhalter ist. Dies trifft im Allgemeinen für folgende Fälle zu [4]:

- Änderung der baulichen Anlage durch jemand anderen als den Brückenerhalter;
- Übertragung der baulichen Anlagen an einen neuen Brückenerhalter;
- Kombination aus den beiden vorgenannten Fällen.

Der Grundgedanke in diesem Modell: Am Beginn der Nutzungsdauer einer Brücke wird ein Anlagebetrag zur Verfügung gestellt und über die gesamte Nutzungsdauer verzinst. Dieser finanziert die laufende Unterhaltung. Die zuvor genannten Richtlinien geben den zu verwendeten Zinssatz mit 4% an. Am Ende der Nutzungsdauer kann dann das Bauwerk neu erstellt werden, zusätzlich bleibt der ursprüngliche Anlagebetrag zur Verfügung (für die nächste Nutzungsperiode). Man spricht dabei von einer *zeitlich unbegrenzten Erhaltungsdauer*, da sich das Modell (theoretisch) unendlich fortsetzen lässt.

Abb. 1 zeigt beispielhaft diesen Kostenverlauf. Erfolgt die Ablösung am Beginn der Nutzungsdauer, entspricht der Anlagebetrag dem Ablösungsbetrag. Die Ablösung kann jedoch auch während der Nutzungsdauer erfolgen. Dann ist die Berechnung der kapitalisierten Erhaltungskosten erforderlich; diese ergeben den Ablösungsbetrag.

Generell ist der Ablösungsbetrag für alle Bauteile zu ermitteln und zu summieren.

3 Berechnung der kapitalisierten Erhaltungskosten (Ablösungsbeträge)

Die kapitalisierten Erhaltungskosten setzen sich aus den kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen AE_{ern} und den kapitalisierten Unterhaltungskosten AE_U zusammen. Das vorgestellte A steht dabei für Ablösemodell.

3.1 Kapitalisierte Erhaltungskosten für Erneuerungen – generelle Vorgangsweise

Die kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen AE_{ern} werden aus den Erhaltungskosten für Erneuerungen E_{ern} berechnet (siehe Abb. 1). Dabei ist AB der Anlagebetrag, m die Nutzungsdauer, K_{ern} die Erneuerungskosten der Brücke, E_{ern} die Erneuerungskosten und AE_{ern} die kapitalisierten Erneuerungskosten. Letztere ergeben sich durch Abzinsung der Erneuerungskosten auf den Zeitpunkt der Ablösung, welcher n Jahre vor Ablauf der Nutzungsdauer erfolgt. Die Erhaltungskosten für Erneuerungen E_{ern} sowie die kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen AE_{ern} ergeben sich laut Formel 1 und Formel 2. Diese entsprechen den in der ABBV [1] angegebenen Formeln.

$$E_{ern} = K_{ern} + \frac{1}{q^m - 1} \cdot K_{ern} = \frac{q^m}{q^m - 1} \cdot K_{ern}$$

Formel 1: Erhaltungskosten für Erneuerungen

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

Formel 2: Kapitalisierte Erhaltungskosten für Erneuerungen

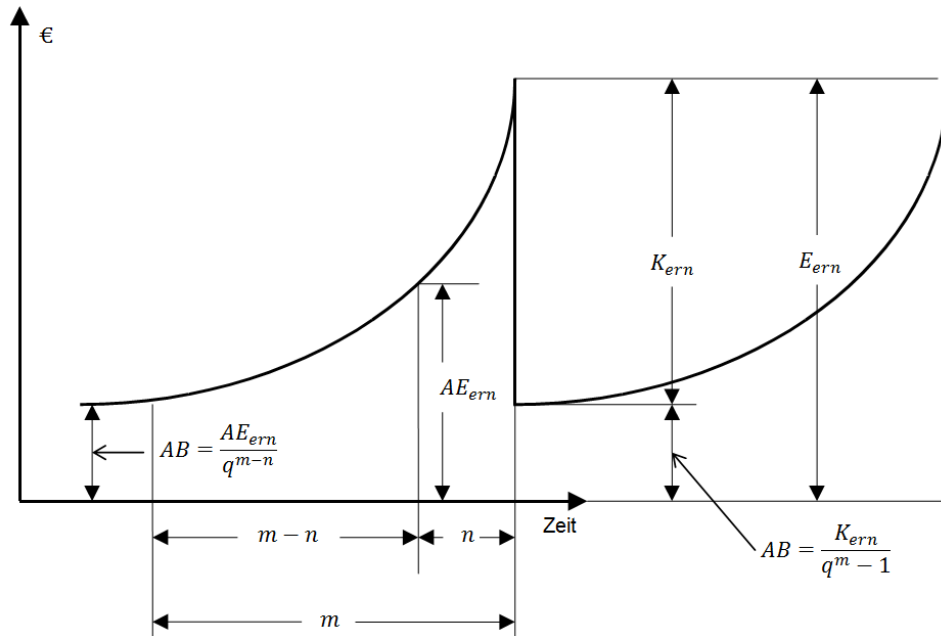


Abb. 1: Ermittlung der kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen

Die ABBV [1] gliedert die Brücken in *Unterbauten* und *Überbauten*. Die diesen Teilen zugeordneten Bauwerksteile werden zur Verwaltungsvereinfachung einheitlich abgelöst. Im Gegensatz dazu unterscheidet die Ablöserichtlinie der ÖBB [5] in *Unterbau*, *Rohtragwerk* und *Ausrüstung*. Teile dieser Ausrüstung fallen in der ABBV in den Bereich *Überbauten* und deren Ablösung erfolgt dort einheitlich mit der Lebensdauer und dem Prozentsatz der *Überbauten*.

3.2 Adaptierte Berechnung der kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen

Gerade Ausrüstungsteile werden während der Lebensdauer der Brücke öfters ausgetauscht. Daher unterscheidet sich die Berechnung für diese Bauteile von jener für die *Überbauten* (*Rohtragwerk*). Auch am Ende der Lebensdauer der Brücke muss eine Erneuerung der Ausrüstung (mit dem Neubau der gesamten Brücke) berücksichtigt werden. Ist der Zeitraum zwischen der letzten Erneuerung der Ausrüstung und dem Ende der Lebensdauer gleich der Lebensdauer der Ausrüstung (also die Lebensdauer der Brücke ein ganzzahliges Vielfaches der Lebensdauer der Ausrüstung), dann ist die Berechnung der kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen für Ausrüstungsteile wie zuvor beschrieben, da es sich ebenfalls um eine zeitlich unbegrenzte Erhaltungspflicht handelt.

Jedoch ist die Lebensdauer der Brücke selten ein ganzzahliges Vielfaches der Lebensdauer der Ausrüstung. Daher ist die Berechnung der Erhaltungskosten für Erneuerungen E_{ern} und der kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen AE_{ern} komplizierter. Abb. 2 zeigt einen möglichen Verlauf der kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen AE_{ern} für Ausrüstungsteile über die Lebensdauer einer Brücke.

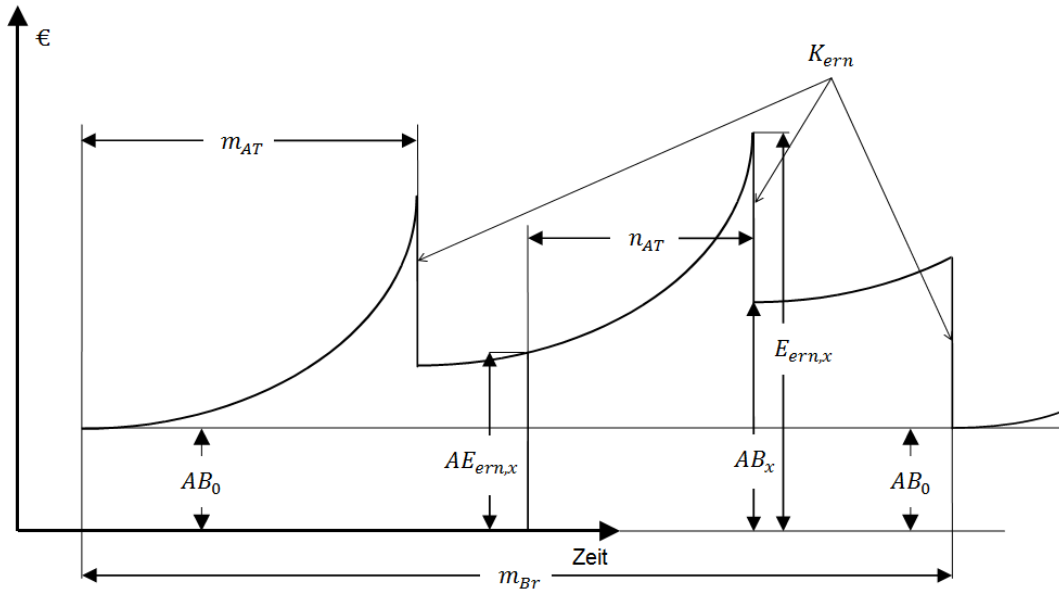


Abb. 2: Kapitalisierte Erhaltungskosten für Erneuerungen für Ausrüstungsteile

Dabei ist AB_0 der Anlagebetrag am Beginn der Lebensdauer der Brücke, m_{Br} die Nutzungsdauer der Brücke, m_{AT} die Nutzungsdauer des Ausrüstungsteils, AB_x der Anlagebetrag am Beginn der x-ten Erneuerung des Ausrüstungsteils, K_{ern} die Erneuerungskosten des Ausrüstungsteils, $E_{ern,x}$ die Erneuerungskosten der x-ten Erneuerung und $AE_{ern,x}$ die kapitalisierten Erneuerungskosten vor der x-ten Erneuerung. Letztere ergeben sich durch Abzinsung der Erneuerungskosten auf den Zeitpunkt der Ablösung, welcher n_{AT} Jahre vor Ablauf der Nutzungsdauer des Ausrüstungsteils erfolgt.

Die Berechnung der kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen AE_{ern} für Ausrüstungsteile wird nun schrittweise dargestellt. Die genaue Vorgangsweise ist in Jodl et al. [2] angeführt.

Am Beginn der Lebensdauer der Brücke wird ein Anlagebetrag AB_0 angesetzt. Dieser kann als die mit dem Kostenfaktor a multiplizierten Erneuerungskosten K_{ern} dargestellt werden. Die Größe des Kostenfaktors ist noch zu ermitteln. Eine Aufzinsung des Anlagebetrages AB_0 über die Lebensdauer der (ersten) Ausrüstung (m_{AT}) ergibt dann die Erhaltungskosten für Erneuerungen $E_{ern,1}$ (zum Zeitpunkt der erstmaligen Erneuerung). Diese setzen sich zusammen aus den dann fälligen Erneuerungskosten K_{ern} und einem Anlagebetrag AB_1 . Dies lässt sich schrittweise fortsetzen und man erhält den x-ten Anlagebetrag (siehe Formel 3).

$$\begin{aligned}
 AB_0 \cdot q^{m_{AT}} &= K_{ern} + AB_1 = E_{ern,1} \rightarrow AB_1 = K_{ern} \cdot (a \cdot q^{m_{AT}} - 1) \\
 AB_1 \cdot q^{m_{AT}} &= K_{ern} + AB_2 = E_{ern,2} \rightarrow AB_2 = K_{ern} \cdot (a \cdot q^{2 \cdot m_{AT}} - q^{m_{AT}} - 1) \\
 AB_x &= K_{ern} \cdot \left(a \cdot q^{x \cdot m_{AT}} - \sum_{i=0}^{x-1} q^{i \cdot m_{AT}} \right)
 \end{aligned}$$

Formel 3: Schrittweise Berechnung der Anlagebeträge

Der Anlagebetrag am Ende der Brückenlebensdauer m_{Br} muss dem Anlagebetrag am Beginn der Brückenlebensdauer (AB_0) entsprechen. Somit kann der Kostenfaktor a laut Formel 4 berechnet werden, wobei \hat{x} die Anzahl der Erneuerungen vor Ende der Brückenlebensdauer ist.

$$a = \frac{1 + q^{m_{Br}} \cdot \sum_{i=1}^{\hat{x}} q^{-i \cdot m_{AT}}}{q^{m_{Br}} - 1} = \frac{1}{q^{m_{Br}} - 1} + \frac{q^{m_{Br}}}{q^{m_{Br}} - 1} \cdot \sum_{i=1}^{\hat{x}} \frac{1}{q^{i \cdot m_{AT}}}$$

Formel 4: Kostenfaktor a

Die Erhaltungskosten für Erneuerungen $E_{ern,x}$ (zum Zeitpunkt der x-ten Erneuerung) und E_{ern} (zum Ende der Lebensdauer der Brücke) ergeben sich somit laut Formel 5.

$$\begin{aligned}
 E_{ern,x} &= K_{ern} \cdot \left(1 + \frac{q^{x \cdot m_{AT}}}{q^{m_{Br}} - 1} + \frac{q^{m_{Br}}}{q^{m_{Br}} - 1} \cdot q^{x \cdot m_{AT}} \cdot \sum_{i=1}^{\hat{x}} \frac{1}{q^{i \cdot m_{AT}}} - \sum_{i=0}^{x-1} q^{i \cdot m_{AT}} \right) \\
 E_{ern} &= K_{ern} \cdot \frac{q^{m_{Br}}}{q^{m_{Br}} - 1} \cdot \sum_{i=0}^{\hat{x}} \frac{1}{q^{i \cdot m_{AT}}}
 \end{aligned}$$

Formel 5: Erhaltungskosten für Erneuerungen für Ausrüstungsteile

Die kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen AE_{ern} errechnen sich durch Abzinsung auf den Zeitpunkt der Ablösung (siehe Formel 6).

$$\begin{aligned}
 AE_{ern,x} &= \frac{K_{ern}}{q^{n_{AT}}} \cdot \left(1 + \frac{q^{x \cdot m_{AT}}}{q^{m_{Br}} - 1} + \frac{q^{m_{Br}}}{q^{m_{Br}} - 1} \cdot q^{x \cdot m_{AT}} \cdot \sum_{i=1}^{\hat{x}} \frac{1}{q^{i \cdot m_{AT}}} - \sum_{i=0}^{x-1} q^{i \cdot m_{AT}} \right) \\
 AE_{ern} &= \frac{1}{q^{n_{AT}}} \cdot K_{ern} \cdot \frac{q^{m_{Br}}}{q^{m_{Br}} - 1} \cdot \sum_{i=0}^{\hat{x}} \frac{1}{q^{i \cdot m_{AT}}}
 \end{aligned}$$

Formel 6: Kapitalisierte Erhaltungskosten für Erneuerungen für Ausrüstungsteile

Somit stehen alle Formeln für die Berechnung der kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen zur Verfügung.

3.3 Kapitalisierte Unterhaltungskosten

Die kapitalisierten Unterhaltungskosten AE_U ergeben sich aufgrund einer zeitlich unbegrenzten Unterhaltungspflicht. Daher soll das für die Unterhaltungskosten vorgesehene Kapital (kapitalisierte Unterhaltungskosten) einen Zinsertrag abwerfen, der die laufenden jährlichen Unterhaltungskosten K_{jU} abdeckt (siehe Formel 7 und Abb. 3).

$$z \cdot AE_U = K_{jU}$$

Formel 7: Kapitalisierte Unterhaltungskosten

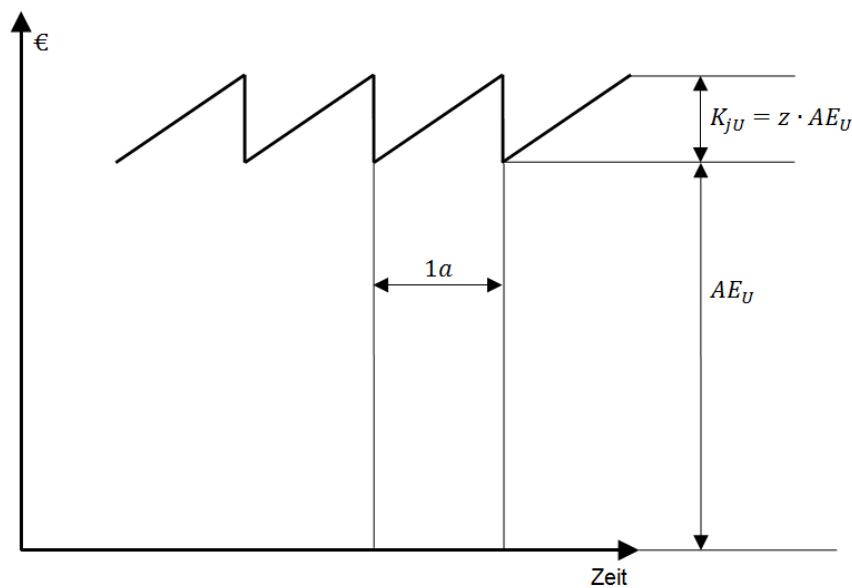


Abb. 3: Kapitalisierte Unterhaltungskosten

4 Ablösemodell ohne Brückenerneuerung (begrenzte Erhaltungspflicht)

Beim Ablösemodell ohne Brückenerneuerung wird nach dem Abriss der Brücke am Brückenlebensende keine neue Brücke gebaut. Daher muss nur der Abriss vorfinanziert werden. Somit ergeben sich die kapitalisierten Erhaltungskosten für den Unterbau und das Rohtragwerk laut Formel 8. Dabei sind K_A die Abrisskosten des Bauteils.

$$E_{ern} = K_A \rightarrow AE_{ern} = \frac{1}{q^n} \cdot K_A$$

Formel 8: Kapitalisierte Erhaltungskosten für Erneuerungen

Dies gilt auch für die Brückenausrüstung; diese muss während der Lebensdauer der Brücke mehrmals erneuert werden können, jedoch für die letzte Periode ist nur noch der Abriss vorzufinanzieren. Die Erhaltungskosten für Erneuerungen $E_{ern,x}$ (zum Zeitpunkt der x-ten Erneuerung) der Ausrüstung ergeben sich laut Formel 9, wobei K_B die Baukosten des Bauteils sind.

$$E_{ern,x} = K_{ern} \cdot \left(\frac{K_A}{K_B + K_A} \cdot \frac{q^{x \cdot m_{AT}}}{q^{m_{Br}}} + \sum_{i=0}^{\hat{x}-x} \frac{1}{q^{i \cdot m_{AT}}} \right)$$

Formel 9: Erhaltungskosten für Erneuerungen von Ausrüstungsteilen

Die kapitalisierten Erhaltungskosten für Erneuerungen AE_{ern} hängen vom Zeitpunkt der Ablösung ab. Bei einer Ablösung zwischen der letzten Erneuerung und dem Ende der Brückenlebensdauer müssen nur die Abrisskosten vorfinanziert werden; es gilt Formel 8. Erfolgt die Ablösung vor der x-ten Erneuerung, findet Formel 11 Anwendung.

$$AE_{ern,x} = \frac{1}{q^{n_{AT}}} \cdot K_{ern,AT} \cdot \left(\frac{K_A}{K_B + K_A} \cdot \frac{q^{x \cdot m_{AT}}}{q^{m_{Br}}} + \sum_{i=0}^{\hat{x}-x} \frac{1}{q^{i \cdot m_{AT}}} \right)$$

Formel 11: Kapitalisierte Erhaltungskosten für Erneuerungen von Ausrüstungsteilen

Die kapitalisierten Unterhaltungskosten werden mittels einer nachschüssigen Rentenrechnung ermittelt. Da diese auch für die Ausrüstungsteile über die gesamte Lebensdauer der Brücke gleich bleiben, gilt Formel 12 für alle Bauteile.

$$AE_U = \frac{1}{q^{m_{Br}}} \cdot \frac{q^{m_{Br}} - 1}{q - 1} \cdot K_{jU}$$

Formel 12: Kapitalisierte Unterhaltungskosten bei begrenzter Erhaltungspflicht

5 Zusammenfassung

Die deutsche Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung ABBV sowie die Ablöserichtlinie der ÖBB geben die Berechnung von Ablösungsbeträgen vor, wobei darin Vereinfachungen in der Berechnung beinhaltet sind. Dieser Artikel stellt eine Berechnungsvariante vor, die die Nutzungsdauern aller Bauteile berücksichtigt (Unterbau, Rohtragwerk, Ausrüstungsteile). Dies führt zu einer genaueren Berechnung der Ablösungsbeträge, wenn die Nutzungsdauer der Brücke kein ganzzahliges Vielfaches der Nutzungsdauer der Ausrüstungsteile ist. Zusätzlich erlaubt das Berechnungsmodell die Berücksichtigung einer begrenzten Erhaltungspflicht. Die vorgestellte, genauere Berechnungsvariante ist im Programm LZKB implementiert.

Beide Richtlinien geben den zu verwendenden Zinssatz mit 4% an. Es ist jedoch generell sehr schwierig, einen geeigneten Zinssatz für die Lebensdauer einer Brücke von ca. 70 bis 130 Jahren vorzusagen bzw. anzugeben. Es wird empfohlen, bei konkreten Brückenobjekten mit abschätzbarer Lebensdauer kürzer als die maximale theoretische Lebensdauer den Zinssatz auf die bezogene Lebensdauer abzuschätzen.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Verordnung zur Berechnung von Ablösungsbeträgen nach dem Eisenbahnkreuzungsgesetz, dem Bundesfernstraßengesetz und dem Bundeswasserstraßengesetz (Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung - ABBV). Juli 2010.
- [2] Jodl, H.G.; Jurecka, A.; Schranz, Ch.; Dejmek, D.: Forschungsvorhaben Programmentwicklung Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB). Teil 1 – Anforderungen. Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien, 2009.
- [3] Jodl, H.G.; Jurecka, A.; Schranz, Ch.; Dejmek, D.: Forschungsvorhaben Programmentwicklung Lebenszykluskosten von Brücken (LZKB). Teil 2 – Handbuch & Software. Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien, 2009.
- [4] Jodl, H.G.: Lebenszykluskosten von Brücken - Teil 1 und 2. Bauingenieur 85, S. 221–240, 2010.
- [5] Österreichische Bundesbahnen: Richtlinien zur Berechnung der Erhaltungskosten und Ablösebeträge von Ingenieurbauwerken, Straßen und Wegen sowie Altbauten im Straßen- und Wegebau. ÖBB, Wien, 2006.
- [6] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr FSV: RVS 15.01.11; Allgemeines – Qualitätskriterien für die Planung von Brücken. Wien, 2003.