



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Strassen ASTRA

DOKUMENTATION

LEBENSZYKLUSKOSTEN

Methode für die Infrastruktur von Nationalstrassen

Ausgabe 2025 V1.00

ASTRA 8B002

Impressum

Autoren / Arbeitsgruppe

Buchheister Juliane	ASTRA N-SSI, Vorsitz
Demory Charles-Henri	ASTRA N-SSI
Lüking Jost	R+R Burger und Partner AG, Baden, PL Auftragnehmer
Thomet Michel	R+R Burger und Partner AG, Bern, Stv. PL Auftragnehmer
Liedtke Klaus-Peter	R+R Burger und Partner AG, Baden

Begleitgruppe

Cuche Alain	ASTRA, Stab
Cuennet Stephane	ASTRA, FU
Herrmann Raphael	ASTRA, S+F
Julia Pablo	ASTRA, Betrieb
Schott Markus	ASTRA, Filiale 2

Expertengruppe

De Gasparo Charles-Etienne	Emch + Berger AG, Bern
Lerch Simon	Emch + Berger AG, Bern
Moser David	Amstein + Walthert Progress AG, Zürich

Originalsprache

Deutsch

Herausgeber

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abteilung Strassennetze N
Standards und Sicherheit der Infrastruktur SSI
3003 Bern

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch heruntergeladen werden.

© ASTRA 2025

Abdruck ausser für kommerzielle Nutzung unter Angabe der Quelle gestattet.

Vorwort

Die Methode für die Berechnung der Lebenszykluskosten der Nationalstrassen erlaubt die Berechnung der Kosten über den gesamten Lebenszyklus aus Sicht des ASTRA als Eigentümer, Verwalter und Betreiber. Entscheidungen über die Infrastruktur sind mit direkten Kosten und Folgekosten verbunden. Diese Kosten müssen nachhaltig sein, um sicherzustellen, dass das ASTRA langfristig in der Lage ist, die Infrastruktur zu erhalten.

Mit der Kenntnis der Lebenszykluskosten sollen die Kosten für die Erstellung und Erhaltung der Nationalstrassen über die gesamte Lebensdauer optimiert werden. Es soll ein besserer, wirtschaftlich nachhaltiger Umgang mit den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln erreicht werden.

Die vorliegende Dokumentation unterstützt Personen aus der Praxis rund um das Thema Lebenszykluskosten in Zusammenhang mit der Nationalstrasseninfrastruktur. Sie zeigt die Anwendung der Methode und bietet illustrative Beispiele für deren Umsetzung sowie der Interpretation der Ergebnisse, die damit erzielt werden können.

Bundesamt für Strassen

Charles-Henri Demory
Fachverantwortlicher Erhaltungsmanagement

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	2
	Vorwort	3
1	Einleitung	7
1.1	Zweck der Dokumentation	7
1.2	Geltungsbereich.....	7
1.3	Adressatinnen und Adressaten.....	7
1.4	Inkrafttreten und Änderungen	7
2	Anforderungen	8
2.1	Ausgangslage	8
2.2	Regelwerke	8
2.2.1	Gesetzliche Grundlagen	8
2.2.2	Nationale Standards	8
2.2.3	Internationale Standards.....	9
3	Grundlagen	10
3.1	Lebenszykluskosten – Definitionen	10
3.1.1	Erstellungskosten, Anfangsinvestition	11
3.1.2	Kosten des betrieblichen Unterhalts und des kleinen baulichen Unterhalts.....	11
3.1.3	Projektgestützter Unterhalt, Kosten für Folgemaßnahmen	16
3.1.4	Rückbaukosten	16
3.1.5	Kosteneinflüsse.....	16
3.2	Zeitliche Definitionen.....	17
3.2.1	Lebenszyklus eines Strassenabschnitts	17
3.2.2	Nutzungsdauer.....	17
3.2.3	Betrachtungszeitpunkt	21
3.2.4	Betrachtungszeitraum	21
4	Methodik	22
4.1	Prozessablauf	22
4.2	Ausgangslage und Problemstellung erfassen	22
4.3	Anforderungen und Rahmenbedingungen klären.....	23
4.4	Räumliche und funktionale Systemgrenzen festlegen.....	24
4.5	Betrachtungszeitraum bestimmen	24
4.6	Erhaltungsplanung konkretisieren und gestalten.....	25
4.7	Kostenmodell	26
4.7.1	Ausgabenrechnung versus Kostenrechnung.....	26
4.7.2	Diskontierung und Barwertbildung: In welchen Fällen?.....	27
4.7.3	Kostenschätzung	28
4.7.4	Abschreibungen, Rückbaukosten, Restwerte.....	29
4.7.5	Teuerung, relative Kostenentwicklungen.....	29
4.7.6	Berücksichtigung von Kapitalkosten, Steuern und Abgaben.....	30
4.8	Unsicherheiten, Sensitivitätsanalysen	30
4.9	Darstellung der Ergebnisse.....	31
5	Anwendungsbeispiele	32
5.1	Übersicht.....	32
5.2	Projektgenerierung: Erhaltungsprojekt Nationalstrasse	33
5.2.1	Ausgangslage und Problemstellung	33
5.2.2	Anforderungen und Rahmenbedingungen.....	34
5.2.3	Räumliche und funktionale Systemgrenzen	34
5.2.4	Betrachtungszeitraum	34
5.2.5	Erhaltungsplanung und Kostenmodell	35

5.2.6	Gesamtbild Lebenszykluskosten im Anwendungsbeispiel	39
5.2.7	Sensitivitäten: Investitionen, Nutzungsdauern, Aufwandszunahme	41
5.3	Massnahmenkonzept: Erhaltungsprojekt Tunnel	43
5.3.1	Ausgangslage und Problemstellung	43
5.3.2	Anforderungen und Rahmenbedingungen	44
5.3.3	Räumliche und funktionale Systemgrenzen	44
5.3.4	Betrachtungszeitraum	44
5.3.5	Erhaltungsplanung und Kostenmodell	44
5.3.6	Gesamtbild Lebenszykluskosten im Anwendungsbeispiel	48
5.3.7	Sensitivität: Asphaltfahrbahn statt Betonfahrbahn	48
5.4	Massnahmenprojekt: Erhaltungsmassnahmen Strassenbrücke	50
5.4.1	Ausgangslage und Problemstellung	50
5.4.2	Anforderungen und Rahmenbedingungen	51
5.4.3	Räumliche und funktionale Systemgrenzen	51
5.4.4	Betrachtungszeitraum	51
5.4.5	Erhaltungsplanung und Kostenmodell	52
5.4.6	Gesamtbild Lebenszykluskosten im Anwendungsbeispiel	54
5.4.7	Sensitivitäten: Synergien und Aufwandszunahme	55
5.5	Ausführungsprojekt: Neuer Autobahnanschluss und SABA	57
5.5.1	Ausgangslage und Problemstellung	57
5.5.2	Anforderungen und Rahmenbedingungen	58
5.5.3	Räumliche und funktionale Systemgrenzen	58
5.5.4	Betrachtungszeitraum	59
5.5.5	Erhaltungsplanung und Kostenmodell	59
5.5.6	Gesamtbild Lebenszykluskosten im Anwendungsbeispiel	62
5.5.7	Sensitivität: Kürzerer Betrachtungszeitraum	63
5.6	Fazit aller Beispiele	64
5.7	Vergleich mit ASTRA-Kennzahlen	64
6	Empfehlungen	65
6.1	Anwendungsmöglichkeiten für LZK-Schätzungen	65
6.2	Kosten- und Verkehrsentwicklung verfolgen	65
6.3	LZK-Schätzung als Ausgabenrechnung anlegen	66
6.4	Anfangsinvestition sinnvoll strukturieren	66
6.5	Möglichst nicht mit Restwerten rechnen	66
6.6	Diskontierung und Barwertbildung i.a. nicht nötig	66
6.7	Betrachtungszeitraum sinnvoll festlegen	66
6.8	Einbezug von Benutzerkosten prüfen	66
6.9	Bezug zur Ökobilanz	67
6.10	Vorhandene Unsicherheiten	67
	Anhang	69
	Abkürzungsverzeichnis	83
	Literaturverzeichnis	85
	Auflistung der Änderungen	89

1 Einleitung

1.1 Zweck der Dokumentation

Lebenszykluskosten – Langfristige Kostenbetrachtungen – zeigen Folgekosten von Strassenprojekten auf, liefern Hinweise darauf, wieviel Geld pro Jahr einzusetzen ist, um die Funktionsfähigkeit der Strasse zu erhalten, und helfen bei der Entwicklung von Erhaltungsprogrammen mit, wann welche Erhaltungsmaßnahmen wirtschaftlich sind. Solche Folgekosten sind zum Beispiel Betriebskosten für Strassenbeleuchtung und Lichtsignalanlagen, Reinigungskosten, Kosten für kleine Reparaturen, Kosten grösserer Erhaltungsprojekte, wenn Objekte wie der Strassenbelag ersetzt werden müssen. Bei solchen Erhaltungsprojekten stellt sich oftmals auch die Frage, ob man früh Geld ausgeben muss oder ob man zuwarten kann – auf die Gefahr hin, dass spätere Erhaltungsmaßnahmen umso teurer werden. Die in dieser Dokumentation verwendeten Kosten für Erhaltungsprojekte beziehen sich auf den projektgestützten baulichen Unterhalt, Erhaltungsmaßnahmen auf Erhaltungs- und Ausbauprojekte (Folgeprojekte).

Diese Dokumentation beleuchtet alle Aspekte solcher Lebenszykluskostenschätzungen:

- Definitionen,
- Grundlagen,
- methodische Ansätze,
- Vorgehen,
- Darstellung der Ergebnisse.

Sie soll ein Referenzwerk für Planer und Projektverfasser sein, um Erstellungs- und Folgekosten für Strassenabschnitte und Objekttypen zu ermitteln und Kostenunterschiede von Projektvarianten, Bau- und Erhaltungsplänen zu beurteilen. Die Dokumentation kann bei Erhaltungs- und Ausbauprojekten sowie auch bei Erhaltungs- und Ausbauprogrammen eingesetzt werden.

Die Dokumentation versteht sich als Methodenbeschrieb. Sie liefert keine Kennzahlen (Wertgerüst, Nutzungsdauern usw.) für die Kostenschätzung selbst. Die Methode wird in Anlehnung an Fallbeispiele mit plausiblen Kosten illustriert.

1.2 Geltungsbereich

Die Dokumentation behandelt die direkten Kosten (Ausgaben) für die Nationalstrasseninfrastruktur aus Sicht des ASTRA als Eigentümer, Verwalter und Betreiber. Diese Lebenszykluskosten betrachten die direkten Betreiberkosten ohne die indirekten. NISTRA ist eine andere Lebenszyklusbetrachtung und entspricht nicht dieser Methode in der Dokumentation.

Sie ist anwendbar für die Nationalstrasse 1., 2. und 3. Klasse.

1.3 Adressatinnen und Adressaten

Die Dokumentation 8B002 richtet sich an alle Personen, die an der Erarbeitung von Kosten der Infrastruktur der Nationalstrassen beteiligt sind. Sie richtet sich auch an Personen, die mit der entsprechenden Entscheidungsfindung betraut sind.

Es richtet sich insbesondere an interessierte Fachpersonen der Projektierung und Ausführung, Ingenieurbüros und Unternehmungen sowie an Personen der Erhaltungsplanung, des Projektmanagements und der Fachunterstützung des ASTRA.

1.4 Inkrafttreten und Änderungen

Dieses Dokument tritt am 23.05.2025 durch Publikation in Kraft.

2 Anforderungen

2.1 Ausgangslage

Die Lebenszykluskosten eines Objekts in der Strasseninfrastruktur umfassen die Kosten

- seiner Erstellung (Planung, Projektierung, Beschaffung, Bau/Installation, Inbetriebnahme),
- seiner Nutzung und Erhaltung (Betrieblicher Unterhalt, kleiner baulicher Unterhalt (KBU) und projektgestützter Unterhalt)
- seiner Ausserbetriebnahme (Stilllegung, Rückbau, Entsorgung/Recycling), wenn das Objekt nicht mehr sinnvoll nutzbar ist und abgebrochen werden soll.

Lebenszykluskostenschätzungen bieten sich beim Verfassen von Ausbau- und Erhaltungsprojekten an,

- um ein Bild über zukünftige finanzielle Belastungen zu gewinnen,
- um den Finanzierungsbedarf über die Nutzungsdauer abzuschätzen
- um Projekte und Erhaltungsstrategien zu planen und zu optimieren (Massnahmenzeitpunkt, Wahl einer Variante mit möglichst niedrigen Lebenszykluskosten),
- um Unternehmerkalkulationen und -angebote auf der Basis eines gemeinsamen Kostenmodells untereinander zu vergleichen und eine langfristige Kostenkontrolle zu ermöglichen,
- um den Vergleich verschiedener Projekte hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Nachhaltigkeit zu unterstützen.

Artikel 17 der Nationalstrassenverordnung [2] verlangt, beim generellen Projekt und beim Ausführungsprojekt Bau-, Unterhalts- und Betriebskosten gesondert auszuweisen. Das ist eine Grundlage für die Planung von Ausbau- und Erhaltungsprojekten nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten ([1], Art. 49). Projekte werden auf bestehenden Strassenabschnitten geplant, die verschiedene Objekte mit unterschiedlicher Lebensdauer umfassen. Die verkehrlichen, sicherheits- und betriebstechnischen Anforderungen an diese Strassenabschnitte sind auf lange Sicht unsicher; je weiter man in die Zukunft schaut, desto unsicherer ist, ob dieser Strassenabschnitt in der bestehenden Form weiterbetrieben, aus- oder umgebaut, ersetzt oder anderweitig genutzt werden soll. Deshalb bezieht man die langfristige Kostenschätzung oft nicht auf einen Lebenszyklus, sondern auf einen genügend langen Betrachtungszeitraum.

Diese Dokumentation schlägt eine Methode und einen adäquaten Rahmen für eine kohärente und einfache Anwendung von solchen langfristigen Gesamtkostenschätzungen vor.

2.2 Regelwerke

2.2.1 Gesetzliche Grundlagen

- Bundesgesetz über die Nationalstrassen (NSG) [1]
- Nationalstrassenverordnung (NSV) [2]

2.2.2 Nationale Standards

- ASTRA 1B001, Richtlinie Inventarobjekte [3]
- ASTRA 13001, Richtlinie Lüftung der Strassentunnel [9]
- ASTRA 16310, Betrieb Nationalstrassen – Vergütung [18]
- ASTRA 16320, Betrieb NS - Zuordnung von Tätigkeiten zu der Produktgruppe Strasseninfrastruktur [19]
- ASTRA 16330, Betrieb NS – Teilprodukt Kleiner baulicher Unterhalt [12]
- ASTRA 2B010, Handbuch Erhaltungsplanung [13]

- ASTRA 21001, Fachhandbuch Trasse / Umwelt (FHB T/U) [20]
- ASTRA 22001, Fachhandbuch Kunstbauten (FHB K) [21]
- ASTRA 23001, Fachhandbuch Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA) [22]
- ASTRA 24001, Fachhandbuch Tunnel / Geotechnik (FHB T/G) [23]
- ASTRA 8B001, Anwendung der Ökobilanz-Methode für die Infrastruktur von Nationalstrassen [14]
- ASTRA 88002, Dokumentation Strassenabwasserbehandlungsverfahren [15]
- ASTRA, Handbuch NISTRA (Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte) [38]
- VSS 640 900, Erhaltungsmanagement; Grundnorm [30]
- VSS 641 820, Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr, Grundnorm [31]
- VSS 41 821, Diskontsatz für Kosten-Nutzen-Analysen im Verkehr [32]
- VSS 41 826, Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr, Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen [37]

2.2.3 Internationale Standards

- ABBV, Verordnung zur Berechnung von Ablösungsbeträgen nach dem Eisenbahnkreuzungsgesetz, dem Bundesfernstrassengesetz und dem Bundeswasserstrassengesetz [46]: Berechnungsvorschrift für die Erhaltungskosten (Unterhaltungs- und Erneuerungskosten) unter anderem für deutsche Bundesfernstrassen
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr, AKVS, Anweisung zur Kostenermittlung und zur Veranschlagung von Strassenbaumassnahmen [45]: Kontenplan und Prozessbeschrieb für die Kostenermittlung von Strassenprojekten

3 Grundlagen

3.1 Lebenszykluskosten – Definitionen

Lebenszykluskosten (LZK) bezeichnen den bewerteten Ressourcenverzehr zur Initiierung, Planung, Realisierung, zum Betrieb, zur Erhaltung und zur Stilllegung eines definierten Objekts bzw. Systems [43]. Sie beziehen sich auf einen Strassen- oder Netzabschnitt und/oder auf Objekte auf diesem Strassen- oder Netzabschnitt (vgl. VSS 640 900 [30]): Wenn immer möglich, werden die Objekttypen und Objektgruppen nach Tab. 3.1 verwendet. Wegen der einfacheren Lesbarkeit wird von Objekten statt Inventarobjekten gesprochen.

Tab. 3.1 Objekte der Nationalstrassen gemäss Richtlinie ASTRA 1B001 Inventarobjekte (vereinfacht) [3]

Objektgruppe	Objekttyp
Fahrbahn	Offene Strecke Anschluss und Verzweigung Anschlussstrecke, Zubringer Unterhaltsweg Meteorwasser Werkleitung
Kunstabauten	Brücke Überführung Unterführung Durchlass Wanne
Tunnel	Bergmännischer Tunnel Tagbautunnel
Galerien	Galerie
übrige Bauten	Lärmschutzwand, Lärmschutzdamm Lawinenverbauung, Steinschlagschutzbaute Grundwasserschutzbaute Hochwasserschutzbaute Hangverbauung Stützmauer, Stützwände, Stützanker Ölabscheider Pumpstation Ablauf Becken Strassenabwasserbehandlungsanlage (SABA) Sandabscheider und Kiessammler Bach- und Flussverbauung Signalportal Biotop Schutzdamm
Gebäude und andere Anlagen	Werkhof und Stützpunkt Polizeistützpunkt, Zollanlage Verkehrsmanagementzentrale Übrige Zentralen Schwerverkehrskontrollzentrum Rastplatz, Raststätte Betriebs- und Sicherheitsausrüstung (BSA)

Die Lebenszykluskosten beginnen mit dem Neubau eines Strassenabschnitts oder eines Objekts oder mit einer umfassenden Erhaltungsmassnahme, mit der ein Strassenabschnitt oder Objekt in den Neuzustand zurückversetzt wird (Anfangsinvestition). Werden Objekte oder Abschnitte im Rahmen eines Erhaltungs- und Ausbauprojekts neu erstellt, wird in dieser Dokumentation auch der Begriff Neubau verwendet. Für diesen Neubau bzw. für diese Erhaltungsmassnahme fallen Erstellungskosten an.

In der Nutzungs- bzw. Betriebsphase entstehen laufend Kosten für den betrieblichen und den sogenannten kleinen baulichen Unterhalt (Reparaturen und Einzelmassnahmen [12]). Von Zeit zu Zeit kommt es in der Betriebsphase zu grösseren Folgemassnahmen, für die entsprechend Projektkosten anfallen (auch Folgeprojekte).

Ein kompletter, ersatzloser Rückbau bestehender Strassen findet selten statt. Der Rückbau bestehender Infrastrukturobjekte ist eher Voraussetzung für umfassende Erhaltungsmassnahmen. Entsprechend sind solche Rückbaukosten in den Kosten von Ausbau- oder Erhaltungsprojekten enthalten.

Eine detaillierte Systematik der zu betrachtenden Kosten findet sich in Kapitel 6.2.5 der Grundlagenstudie zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen von 2014 [43]. Zusammengefasst gilt das Folgende (3.1.1 bis 3.1.5).

3.1.1 Erstellungskosten, Anfangsinvestition

Die Kosten für diesen Neubau bzw. für die umfassende Erhaltungsmassnahme umfassen

- Planung und Projektierung (ab Ende Projektgenerierung, siehe Kap. 3.2.4)
- Beschaffung, Herstellung von Komponenten beim Lieferanten
- Bauvorbereitung, Landerwerb
- Lieferung von Komponenten an die Baustelle, Bau, Installation
- Tests, Inbetriebnahme

Diese Kosten können den Projektabrechnungen entnommen werden oder entsprechen Schätzungen bzw. Voranschlägen der Projektverfasser. Für Eigenleistungen des ASTRA ist ein Zuschlag anzunehmen, wenn diese nicht explizit ausgewiesen sind.

3.1.2 Kosten des betrieblichen Unterhalts und des kleinen baulichen Unterhalts

In der Betriebsphase (nach [1], [2] Kap. 5) entstehen Kosten für den betrieblichen Unterhalt und den kleinen baulichen Unterhalt. Sie entsprechen laufenden Kosten und sind keinen Projekten zugeordnet.

Im betrieblichen Unterhalt entstehen (entsprechend der Aufteilung der Tätigkeiten [19]) Kosten für

- Winterdienst
- Reinigung
- Grünpflege
- Betriebs- und Sicherheitsausrüstung (BSA)
- Technischen Dienst (Kontrolle und Instandhaltung von Sicherheitsausrüstungen und Einrichtungen zum Schutz vor Naturgefahren, Betrieb und Wartung von technischen Nebenanlagen)

Dazu kommen noch Kosten für ausserordentliche Dienste infolge unvorhersehbarer einmaliger Ereignisse, zum Beispiel Schadenwehr und Unfalldienst. Diese Kosten werden wenigstens teilweise den Verursachern weiterverrechnet und hier nicht berücksichtigt.

Zum kleinen baulichen Unterhalt zählen projektfreie Massnahmen (projektfreier baulicher Unterhalt) wie zum Beispiel [19]

- Bauliche Reparaturen wie Ausgiessen von Rissen und Fugen auf der Fahrbahn, Behebung von Frost- und Tausalzschäden oder Sichern von Böschungen
- Kleine Einzelmassnahmen wie Nachmarkierungen auf der Fahrbahn oder Entfernen von losen Felspartien, Nachsäen grösserer zusammenhängender Grünflächen

Gemeinkosten, die den Produkten des betrieblichen Unterhalts und dem kleinen baulichen Unterhalt nicht zugerechnet werden können, entstehen für Planung, Führung und Verwaltung sowie für zentrale Einrichtungen und Werkhöfe.

Tab. 3.2 Ausgaben im betrieblichen Unterhalt der Nationalstrassen 2022 [39]

Kostenart, Produkt	Millionen CHF
Gemeinkosten	41
Winterdienst	48
Reinigung	59
Grünpflege	36
BSA	84
Technischer Dienst	7
Globale/Leistungen = Summe Teilprodukte	275
Kleiner baulicher Unterhalt	77
Leistungen betrieblicher Unterhalt und kleiner baulicher Unterhalt	352
<i>CHF pro km Nationalstrasse, rund</i>	<i>156'000</i>
Schadenwehren	33
Dienste	10
Ausgaben Betrieblicher Unterhalt insgesamt, 2022	395

Das ASTRA gibt für 2023 Angebotskosten nach Betriebsstrecken kategorien an:

Tab. 3.3 Angebotskosten 2023 nach Betriebsstrecken kategorie [40]

	Total	Übergeordnete Funktion (Gebiets-einheit) (ÜF)	Offene Strecke	Tunnel	Werkhof / Stützpunkt	Grenzzollanlage	Schwerverkehrs-kontrollzentrum
vor Umlage ÜF	276,6	50,8	140,3	61,6	21,8	0,8	1,3
nach proportionaler Umlage ÜF	276,6	-	171,9	75,4	26,7	0,9	1,7
	100%		62,1%	27,3%	9,7%	0,3%	0,6%

Bezogen auf die 275 Millionen Franken der Globale 2022 aus Tabelle 3.2 ergibt sich anhand dieser Prozentzahlen folgendes:

Tab. 3.4 Ausgaben des ASTRA für betrieblichen Unterhalt, 2022 [39]

	MCHF	km	CHF/km
Offene Strecke	170,9	1'933	88'400
Tunnel	75,0	322	232'900
Werkhof / Stützpunkt	26,5		
Grenzzollanlagen, Schwerverkehrskontrollzentren	2,6		
Gesamt	275,0	2'255	122'000

Für grobe Kostenschätzungen im betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt gibt es die Norm VSS 41 826 Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen [37]. Sie basiert auf Daten aller elf Gebietseinheiten des ASTRA für die Jahre 2008 bis 2017 sowie auf Daten von Kantonen und Gemeinden. Die Kosten decken den betrieblichen Unterhalt, den kleinen baulichen Unterhalt und die Gemeinkosten ab und werden pro Meter angegeben. Kosten der Strassenabwasserbehandlungsanlagen sind hier nicht enthalten. In dieser Dokumentation werden die Kosten für den Betrieb nach Norm verwendet. In Kap. 5.7 findet sich ein weiterer Vergleich zu den ASTRA-Kennzahlen und den Beispielberechnungen.

Folgende Tabelle zeigt die Kostenkennzahlen und ihre Einflussfaktoren für offene Autobahnen und Autostrassen, Tunnel sowie Strassen ausser- und innerorts, entsprechend der Norm mit dem Baupreisindex für Strassen auf Preisbasis 2023 hochgerechnet. Die Durchschnittskosten beziehen sich bei Autobahnen und Tunnel auf einen DTV von 40'000 Fahrzeugen und einen Schwerverkehrsanteil von 6%. Die Tabelle zeigt auch die Spannweite der Kosten in Abhängigkeit dieser Faktoren, der Infrastrukturdichte und des Aufwands für den betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt.

Tab. 3.5 Kostenkennzahlen für betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt, gemäss [37], hochgerechnet auf Preisbasis 2023

CHF		Durchschnittskosten		Tiefe Kosten (Beispiel)		Hohe Kosten (Beispiel)
Autobahn, Autostrasse, offen						
Basiskosten pro Meter		150,20		150,20		150,20
durchschn. tägl. Verkehr	40'000 Fz.	±0	20'000 Fz.	-6,26	60'000 Fz.	+6,26
Schwerverkehrsanteil	6%	±0	4%	-0,67	8%	+0,67
Infrastrukturdichte	normal	±0	gering	-8,28	hoch	+11,67
Aufwand/Anforderungen:						
Winterdienst	normal	±0	gering	-11,34	hoch	+24,92
Grünpflege	normal	±0	gering	-10,30	hoch	+14,99
Reinigung	normal	±0	gering	-9,30	hoch	+33,79
kleiner baulicher UH	normal	±0	gering	-2,46	hoch	+3,63
BSA	normal	±0	gering	-8,19	hoch	+108,33
Kosten pro m effektiv		150,20		93,40		354,47
Tunnel						
Basiskosten pro Meter		322,96		322,96		322,96
durchschn. tägl. Verkehr	40'000 Fz.	±0	20'000 Fz.	-52,65	60'000 Fz.	+52,65
Schwerverkehrsanteil	6%	±0	4%	-4,94	8%	+4,94
Ausrüstungslevel	normal	±0	normal	±0	hoch	+48,47
Tunnelröhren	1	±0	1	±0	2	+76,11
Tunnellänge	≥ 600m	±0	< 600m	-33,07	≥ 600m	±0
Aufwand/Anforderungen:						
Reinigung	normal	±0	gering	-25,06	hoch	+57,65
kleiner baulicher UH	normal	±0	gering	-1,82	hoch	+11,91
BSA	normal	±0	gering	-126,15	hoch	+190,22
Kosten pro m effektiv		322,96		79,27		764,90
Strassen ausserorts						
Basiskosten pro Meter		24,34		24,34		24,34
durchschn. tägl. Verkehr	1'500 Fz.	±0	1'000 Fz.	-0,03	5'000 Fz.	+0,20
Anz. schwere Fz. / Tag	100 Fz.	±0	50 Fz.	-2,32	200 Fz.	+4,64
Infrastrukturdichte	normal	±0	gering	-5,35	hoch	+27,47
Aufwand/Anforderungen:						
Winterdienst	normal	±0	gering	-7,85	hoch	+4,31
Grünpflege	normal	±0	gering	-3,34	hoch	+0,96
Reinigung	normal	±0	gering	-0,48	hoch	+1,14
kleiner baulicher UH	normal	±0	gering	-2,28	hoch	+0,64
BSA	normal	±0	gering	-1,43	hoch	+1,48
Kosten pro m effektiv		24,34		1,27		65,19
Strassen innerorts						
Basiskosten pro Meter		41,69		41,69		41,69
durchschn. tägl. Verkehr	1'500 Fz.	±0	1'000 Fz.	-0,06	5'000 Fz.	+0,41
Anz. schwere Fz. / Tag	100 Fz.	±0	50 Fz.	-3,48	200 Fz.	+6,96
Infrastrukturdichte	normal	±0	gering	-5,35	hoch	+27,47
Aufwand/Anforderungen:						
Winterdienst	normal	±0	gering	-1,33	hoch	+6,45
Grünpflege	normal	±0	gering	-2,62	hoch	+0,64
Reinigung	normal	±0	gering	-0,96	hoch	+1,54
kleiner baulicher UH	normal	±0	gering	-2,78	hoch	+0,36
BSA	normal	±0	gering	-2,35	hoch	+5,81
Kosten pro m effektiv		41,69		22,75		91,32

Für den betrieblichen Unterhalt von SABAs liefert die ASTRA-Dokumentation 88002 «Strassenabwasserbehandlungsverfahren» [15] folgende Kostenkennzahlen. Die betrieblichen Unterhaltskosten von SABAs werden gesamthaft betrachtet und nicht nach den Kategorien des betrieblichen Unterhalts wie Reinigung, BSA usw. aufgeteilt:

Tab. 3.6 Kostenkennzahlen für den betrieblichen Unterhalt von SABAs, gemäss [15], hochgerechnet auf Preisbasis 2023

SABA-Leistungsklasse	jährliche Unterhaltskosten, CHF pro Hektare angeschlossene Strassenfläche	kalkulatorischer Mittelwert
5	≤ 770	
4	≤ 1'540	1'155
3	≤ 2'310	1'925
2	≤ 3'080	2'695
1	> 3'080	

Die ASTRA-Richtlinie 13001, „Lüftung der Strassentunnel“ [9] gibt Kosten für den Unterhalt von Strassentunnel in Prozent der jeweiligen Erstellungskosten an, insbesondere für Elemente der Tunnellüftung:

Tab. 3.7 Kostenkennzahlen für den betrieblichen Unterhalt von Tunnel und Tunnellüftung, gemäss [9]

Element	jährliche Unterhaltskosten in % der jeweiligen Erstellungskosten
<i>Tunnelbau</i>	
Tunnelbau	1
Stahlbeton	1
Konventionelle Bauten	1
<i>Luftdurchlässe</i>	
Allgemein	4
Zuluft in Tunnel	6
Abluft aus Tunnel	8
<i>Lüftungskanäle</i>	
Aus Metall	6
Zwischendecke in Stahlbeton	6
andere Bauwerke in Stahlbeton	6
<i>Lüftungsklappen</i>	
Abschlussklappen	4
Ferngesteuerte Absaugklappen	8
<i>Motoren</i>	
Elektrisch	1
Diesel	4
Schalldämpfer	1
Umlenkbleche	1
<i>Ventilatoren</i>	
Raumlüftung	4
Strahlventilatoren	5
Axialventilatoren	4
<i>Elektroinstallationen</i>	
Regelung	5
Messeinrichtung, Detektion	5
Frequenzumformer	2
Transformatoren	2
Verkabelung	1

Weitere Quellen für Betriebskosten und ihre Schätzung können Wartungsverträge sein, wie sie sich zum Beispiel bei Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen finden. Wartungsverträge beschreiben die von Lieferanten bzw. Dienstleistern zu erbringenden Leistungen für definierte Objekte und definierte Levels of Service und grenzen sie von den Aufgaben ab, die beim Betreiber verbleiben. Man unterscheidet präventive Wartung (Instandhaltung, z.B. regelmässige Inspektionen und Kontrollen, Reinigung, Backups oder Ersatz von Betriebsmitteln nach definierten Betriebsdauern) und korrektive Wartung (Instandsetzung bei unerwarteten Ereignissen). Für den Aufwand sind der Bedarf an Ressourcen und Arbeitszeit sowie Fehlerhäufigkeiten massgeblich. In diesem Zusammenhang werden manchmal Begriffe wie MTBF (mean time between failures) oder MTTR (mean time to repair) verwendet.

3.1.3 Projektgestützter Unterhalt, Kosten für Folgemassnahmen

Während des Betrachtungszeitraums der Kostenrechnung kann es notwendig sein, Instandsetzungen, Verstärkungen oder Erneuerungen (Rekonstruktion oder Ersatz) von Objekten oder Teilen von Objekten der Infrastruktur durchzuführen, um die Funktions- und Gebrauchstauglichkeit der Strasse zu gewährleisten. Diese Massnahmen zählen zum projektgestützten Unterhalt.

Die Kosten für entsprechende Folgeprojekte können aus den Erstellungskosten gemäss 3.1.1 abgeleitet werden.

3.1.4 Rückbaukosten

Ein Rückbau bestehender Objekte findet im Allgemeinen beim Ersatz statt; die Kosten sind dementsprechend in den Projektkosten gemäss 3.1.3 enthalten.

Ein ersatzloser, kompletter Rückbau von Strassenabschnitten oder Objekten auf Strassen findet sehr selten statt. Bei Erhaltungsprojekten oder Ausbauprojekten ist es unwahrscheinlich, dass am Ende des in die Zukunft reichenden Betrachtungszeitraums ein kompletter Rückbau anzunehmen ist. Solche Rückbaukosten werden in den Beispielen (Kap. 5) deshalb nicht betrachtet.

3.1.5 Kosteneinflüsse

Geografische Lage, Komplexität, Zustand und Verkehrsbelastung haben einen Einfluss auf Projektkosten und laufende Kosten von Strassen und Infrastrukturobjekten. Wie in Abbildung 3.3 ersichtlich, greifen die Kostenmodelle in der Norm VSS 41 826 zum betrieblichen Unterhalt von Strassen [37] solche Einflussfaktoren auf. Im Grundlagenbericht zu dieser Norm werden folgende Einflussfaktoren beschrieben:

Tab. 3.8 Berücksichtigung von Kosteneinflüssen auf den betrieblichen und den kleinen baulichen Unterhalt [44]

Einflussfaktor	Berücksichtigung in VSS 41 826
Verkehr	Kostenfunktionen in Abhängigkeit vom durchschnittlichen täglichen Verkehr und vom Schwerverkehrsanteil
Siedlungsumgebung	Im Kostenfaktor «Infrastrukturdichte» zu berücksichtigen
Höhenlage	Im Kostenfaktor «Anforderungen an den Winterdienst» zu berücksichtigen
Tunnellänge	Kostenabschlag für kurze Tunnels, weitere Kosten können über die «Anforderungen an Betriebs- und Sicherheitsausrüstung» berücksichtigt werden
Anzahl Fahrstreifen	Im Kostenfaktor «Infrastrukturdichte» zu berücksichtigen
Standstreifen im Tunnel	Im Kostenfaktor «Ausrüstungslevel» zu berücksichtigen
Alter, Anlagenzustand	Im Kostenfaktor «Anforderungen an den kleinen baulichen Unterhalt» zu berücksichtigen
Grünanlagen	In Kostenfaktor «Anforderungen an die Grünpflege» zu berücksichtigen
Trottoir, Radweg	Im Kostenfaktor «Infrastrukturdichte» zu berücksichtigen
ÖV-Anlagen	Im Kostenfaktor «Infrastrukturdichte» sowie allenfalls bei den «Anforderungen an die Reinigung» zu berücksichtigen
Einpassung ins Ortsbild	In den Kostenfaktoren «Anforderungen an die Grünpflege», «Anforderungen an den Winterdienst» sowie «Anforderungen an den kleinen baulichen Unterhalt» zu berücksichtigen

Entsprechende Kosteneinflüsse sind auch bei der Projektkostenschätzung zu berücksichtigen.

Im Weiteren legt die Norm VSS 41 826 fest, für die Fortschreibung der Kosten über die Zeit eine reale Zunahme (also eine Zunahme über die allgemeine Preisentwicklung hinaus) von 1 % pro Jahr anzunehmen. Begründen lässt sich dies mit dem Verkehrswachstum, das nicht nur – wie im Kostenmodell beschrieben – zu höherer Abnutzung und grösserem Instandhaltungsbedarf führt, sondern zunehmend auch die Ausführung von Bau- und Unterhaltsarbeiten erschwert.

3.2 Zeitliche Definitionen

3.2.1 Lebenszyklus eines Strassenabschnitts

Da Strassen selten komplett aufgegeben werden, könnte man als Lebenszyklus eines Strassenabschnitts den Zeitraum von seiner Erstellung bis zu einer umfassenden Gesamterneuerung bzw. bis zu einem umfassenden Aus- oder Umbau annehmen. Bereits innerhalb und natürlich am Ende eines solchen Lebenszyklus erreichen unterschiedliche Infrastrukturobjekte auf dem Strassenabschnitt das Ende ihrer Nutzungsdauer.

3.2.2 Nutzungsdauer

Die Nutzungsdauer eines Infrastrukturobjekts ist technisch definiert. Sie entspricht dem Zeitraum, in dem der Nutzungszweck des Objekts unter Wahrung von Verfügbarkeit, Leistungsfähigkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS = reliability, availability, maintainability, safety) erfüllt wird. Am Ende der Nutzungsdauer sind inakzeptable Einschränkungen in Verfügbarkeit, Leistungsfähigkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit zu erwarten. Entsprechend sind dann Erhaltungsmassnahmen oder ein Ersatz vorzusehen.

Objekte auf einem Strassenabschnitt können im Betrachtungszeitraum der Kostenrechnung das Ende ihrer technischen Lebensdauer (Nutzungsdauer) erreichen. Die Nutzungsdauer steht im Zusammenhang mit der Projektierung (Bemessung) und ist als minimale Nutzungsdauer zu verstehen. In der Praxis können die realen Nutzungsdauern von den hier genannten abweichen und sollten sich immer auf dem aktuellen Stand der Technik abstützen.

In der ASTRA-Dokumentation 8B001 zur Anwendung der Ökobilanz-Methode sind Angaben aus den ASTRA-Standards (Stand 31.12.2024) zur Nutzungsdauer von Infrastrukturobjekten zusammengestellt [14]:

Tab. 3.9 Nutzungsdauern von Infrastrukturobjekten des ASTRA [14]

Objekt	Nutzungsdauer	Einheit	Quelle
Allgemein			
Verankerte Bauwerke	100	a	[4]
Temporäre Bauwerke	<10	a	[6]
Temporärer Verbau	30	a	[29]
Trasse / Umwelt			
Belag			
PA Belag (offenporiger Asphalt)	<15	a	[20]
Gussasphalt Deckschicht	25	a	[21]
Gussasphalt Binderschicht	50	a	[21]
Walzasphalt Deckschicht	20	a	[21]
Walzasphalt Binderschicht	25	a	[21]
Passive Sicherheitssysteme			
Fahrzeurückhaltesysteme	30-40	a	[5]
Fahrzeurückhaltesysteme permanent	50	a	[18]
Leitschranken/Geländer	25	a	[21]

Tab. 3.9 Nutzungsdauern von Infrastrukturobjekten des ASTRA [14]

Objekt	Nutzungsdauer	Einheit	Quelle
Mobiles Überleitsystem (MÜLS)	25	a	[18]
Anpralldämpfer stationär, permanent "Stahl"	50	a	[18]
Anpralldämpfer stationär, permanent „Kunststoff“	20	a	[18]
Strassenabwasserbehandlungsanlage (SABA)			
Mechanische Anlageteile	15	a	[16]
Bauliche Anlageteile	50	a	[16]
Lärmschutzwände (LSW)			
Tragelemente (LSW)	50	a	[21]
Lärmschutzwände Holzkassetten	30	a	[18]
Lärmschutzwände Alukassetten	40	a	[18]
Lärmschutzwände mit Betonrippenplatte	40	a	[18]
Lärmschutzwände aus Glas	50	a	[18]
Fundamente und Tragkonstruktionen aus Stahlbeton (LSW)	100	a	[20]
Wandpfosten, inkl. Verankerungen (LSW)	50	a	[20]
Tragkonstruktionen für Lärmschutzwände „Stahlträger“	50	a	[18]
Schutz- und Stützbauten			
Lawinenstützverbau	80	a	[29]
Sprenganlagen	20	a	[29]
Steinschlagschutznetze	50	a	[29]
Murgangschutznetze	30	a	[29]
Felssicherung mit Netzen	30	a	[29]
Wildbachsperrn Holz	30	a	[29]
Wildbachsperrn Beton	50	a	[29]
Hangstützwerke (Holzkasten eingedeckt, Steinkörbe)	50	a	[29]
Holzrechen	50	a	[29]
Sperrn für Talflüsse und Geschiebe-sammler Beton	80	a	[29]
Dämme	100	a	[29]
Kunstabauten			
Tragwerk, inkl. permanente Mikropfähle	100	a	[21]
Tragkonstruktion (inkl. Unterbau)	100	a	[21]
Brückenlager	50	a	[21]
Abdichtung/Belag (Schutzschicht)	50	a	[21]
Abdichtung Brücke	25	a	[26]
Betonsorte G-ND (Restnutzungsdauer)	50	a	[28]
Entwässerung	50	a	[21]
Entwässerungsleitungen aus PP-Rohren	10	a	[7]
Galerie	80	a	[29]
Signalportale und Masten			
Stahlbeton (Foundation)	100	a	[21]
Stahlbauteile	50	a	[21]
Korrosionsschutz Stahlbau, verzinkte Verschraubungen Rahmen	25	a	[21]
Fahrbahnübergänge			
Fahrbahnübergänge	25	a	[21]
Verschleisssteile	25	a	[7]
übrige Teile	50	a	[7]
Leitmauer			
Brüstungen/Leitmauern/Brückenrand	50	a	[21]
Bewehrung Stahl	50	a	[27]
Bewehrung Basaltfaser	100	a	[27]

Tab. 3.9 Nutzungsdauern von Infrastrukturobjekten des ASTRA [14]

Objekt	Nutzungsdauer	Einheit	Quelle
Bauliche Anlagen			
Wildschutzzaun	40	a	[18]
Wildschutzzauntor mechanisch	40	a	[18]
Temporäre Fahrzeugrückhaltesysteme Beton	40	a	[18]
Temporäre Fahrzeugrückhaltesysteme Stahl	35	a	[18]
Temporäre Baustelleneinrichtungen Baken, Signale, Leitlichter	10	a	[18]
Signaltafeln reflektierend statisch	30	a	[18]
Tragkonstruktion für Signaltafeln statisch	50	a	[18]
Randleitpfosten „Kunststoff“	30	a	[18]
Brüstungsmauern Beschichtung	25	a	[18]
Brückengeländer	50	a	[18]
Tunnelwandbeschichtungen	40	a	[18]
Signalbrücken Stahlbau	60	a	[18]
Betriebs- und Sicherheitsausrüstung			
Wartungsfreie Batterien	18-20	a	[22]
Barriere (bezeichnet als Leitschranke)	15	a	[22]
Barrieren elektrifiziert	30	a	[18]
Batterien Typ OPzV	18-20	a	[22]
Lichtwellenleiter-Kabel	25-35	a	[11]
Kupferkabel	30-45	a	[11]
Werktor elektrifiziert	40	a	[18]
Lichtsignalanlage Ampel	30	a	[18]
Lichtsignalanlage Tragkonstruktion	40	a	[18]
Signalisationsbilder elektrifiziert, dynam. (seitlich oder überkopf)	25	a	[18]
Tragkonstruktion zu Signalbilder dynamisch	50	a	[18]
Verteilkabine Energie	50	a	[18]
Zählkabine Verkehrszählung	30	a	[18]
Radaranlage stationär	15	a	[18]
Tunnelinstallationen (Fahrstreifensignale, Unterflurfeuer, Brandnotleuchten, Optische Leiteinrichtungen etc.)	25	a	[18]
Kandelaber	30	a	[18]
TV Erfassungskamera	25	a	[18]
Schlaufen für Verkehrserfassung und Lichtsignalanlagen etc.	30	a	[18]
Hydrant	40	a	[18]
Beleuchtung			
Durchfahrtsbeleuchtung	80'000	h	[17]
Adaptionsbeleuchtung	80'000	h	[17]
Optische Leiteinrichtung	80'000	h	[17]
Fluchtwegbeleuchtung	80'000	h	[17]
Strassenbeleuchtung	80'000	h	[17]
Optik Blinker, Ampel LED	60'000	h	[22]
Lüftung			
Luftdurchlässe Allgemein	25	a	[9]
Luftdurchlässe Zuluft in Tunnel	25	a	[9]
Luftdurchlässe Abluft aus Tunnel	25	a	[9]
Lüftungskanäle aus Metall	40	a	[9]
Lüftungskanäle Zwischendecke in Stahlbeton	60	a	[9]
Lüftungskanäle andere Bauwerke in Stahlbeton	80	a	[9]
Lüftungsklappen Abschlussklappen	25	a	[9]

Tab. 3.9 Nutzungsdauern von Infrastrukturobjekten des ASTRA [14]

Objekt	Nutzungsdauer	Einheit	Quelle
Lüftungsklappen Ferngesteuerte Absaugklappen	25	a	[9]
Motoren Elektrisch	20	a	[9]
Motoren Diesel	20	a	[9]
Antriebsmotor Längslüftung Lager L10	40'000	h	[22]
Antriebsmotor Abluftsystem Lager L10	40'000	h	[22]
Antriebsmotor SISTO Lüftung Lager L10	50'000	h	[22]
Schalldämpfer	25	a	[9]
Umlenkleche	25	a	[9]
Ventilatoren Raumlüftung	15	a	[9]
Ventilatoren Strahlventilatoren	20	a	[9]
Ventilatoren Axialventilatoren	30	a	[9]
Energieversorgung			
Elektroinstallationen Regelung	10	a	[9]
Elektroinstallationen Messeinrichtung, Detektion	15	a	[9]
Elektroinstallationen Frequenzumformer	15	a	[9]
Elektroinstallationen Transformatoren	30	a	[9]
Elektroinstallationen Verkabelung	25	a	[9]
Elektronik	10-15	a	[9]
Elektrik und Mechanik	20-25	a	[9]
Firewall (bestehende Netzwerke): Hardware	6	a	[22]
Rechner der Steuer- und Leittechnik Typ ARH 04	>6	a	[22]
Rechner der Steuer- und Leittechnik Typ AS 04	≥20	a	[22]
Kleinspannung	20	a	[22]
Technologie (IT)	3-4	a	[25]
Technologie (OT)	10-20	a	[25]
Alarmanlagen	10	a	[29]
Tunnel / Geotechnik			
Tunnel	80	a	[29]
Tunnelbau (Bau)	80	a	[9]
Stahlbeton (Bau)	80	a	[9]
Konventionelle Bauten	80	a	[9]
Hochwasserschutzstollen	100	a	[29]
Zwischendecke	60-80	a	[23]
Innenring	80-100	a	[23]
Antirezirkulationswand	100	a	[23]
Winkelstützmauer	100	a	[23]
Vorgespannter Anker mit Korrosionsschutz	>2	a	[8]
Anker ohne Korrosionsschutz	<2	a	[8]
Pfähle (Foundation oder Stützkonstruktionen)	100	a	[23]
Mikropfähle	>5	a	[23]
Mikropfähle aus Holz	2	a	[23]
Türen und Tore	30	a	[10]
Oberflächenbehandlung für Türen und Tore	30	a	[10]

Geografische Lage, Zustand und Verkehrsbelastung haben einen Einfluss auf die Nutzungsdauer von Strassen und Infrastrukturobjekten. Besonders bei mechanischen oder elektrischen Anlagen, Motoren usw. wird die Nutzungsdauer oft von Schwellenwerten für die Gesamtlaufzeit, Anzahl von absolvierten Betriebszyklen oder Stellvorgängen oder ähnlichem bestimmt. Damit ist die Nutzungsdauer direkt von der Nutzungsintensität abhängig (nach [31]).

3.2.3 Betrachtungszeitpunkt

Der Betrachtungszeitpunkt entspricht dem Jahr oder Monat, in dem die Lebenszykluskostenanalyse bzw. die langfristige Kostenschätzung vorgenommen wird. Mit dem Betrachtungszeitpunkt beginnt der Betrachtungszeitraum.

3.2.4 Betrachtungszeitraum

Der Betrachtungszeitraum entspricht der Zeitspanne, für die die Kosten eines Strassenabschnittes bzw. seiner Objekte abgeschätzt werden. Er umfasst ein allfälliges initiales Ausbau- oder Erhaltungsprojekt ab Ende Projektgenerierung und eine definierte Betriebsphase nach Inbetriebnahme eines solchen Projekts. Vor der Phase Projektgenerierung eine Lebenszykluskostenbetrachtung zu erstellen, vergrössert die Unsicherheiten allfälliger Massnahmenkosten stark. In der Regel erfolgt die erste Kostenschätzung von Massnahmen mit der Phase Projektgenerierung, wobei die Kostenschätzung 30% bis 50% Genauigkeit aufweist.

Der Betrachtungszeitraum richtet sich nach dem Zweck der Kostenschätzung und kann kürzer sein als die mögliche Nutzungsdauer langlebiger Objekte. Zur Festlegung des Betrachtungszeitraums vgl. Kapitel 4.5.

4 Methodik

4.1 Prozessablauf

In der Grundlagenlagenstudie zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen [43] wird folgender Prozessablauf von Lebenszykluskostenanalysen vorgeschlagen:

- Ausgangslage und Problemstellung erfassen
- Anforderungen und Rahmenbedingungen klären
- Systemgrenze festlegen
- Betrachtungszeitraum bestimmen
- Erhaltungsplanung konkretisieren und gestalten
- Kostenmodell entwickeln
- Umgang mit Unsicherheiten modellieren
- Resultat dokumentieren

Im Folgenden werden die Schritte im Prozessablauf beschrieben. Die Anwendungsbeispiele für LZK-Analysen im Kapitel 5 folgen diesem Prozessablauf.

4.2 Ausgangslage und Problemstellung erfassen

Hinsichtlich der Ausgangslage und der Problemstellung stehen folgende Fragen im Vordergrund:

- **Situation:** Um welche Strassenabschnitte bzw. Objekte geht es konkret? Wo liegen sie? Welche Abmessungen haben diese Strassenabschnitte bzw. Objekte? Von welchem Typ sind die betrachteten Objekte?
- Wie ist die planerische **Ausgangslage** auf den betrachteten Strassenabschnitten zu Beginn der langfristigen Kostenschätzung? Besteht (wie im Fall 1 im nächsten Spiegelpunkt) ein Erhaltungs-, Neu- oder Ausbauprojekt oder eine Erhaltungsplanung, auf der die langfristige Kostenschätzung aufbauen kann? Für welche Planungsphase gilt sie? Welche Kosten werden für das Initialprojekt geschätzt (Anfangsinvestition)?
- Welchen **Zweck** verfolgt man mit der langfristigen Kostenschätzung? Welche Fragen soll die langfristige Kostenschätzung beantworten? Drei **Beispiele:**
 - **Fall 1:** Ein Strassenabschnitt oder ein Objekt soll mit einem umfassenden Erhaltungsprojekt saniert werden. Wie hoch ist der zukünftige Betriebs- und Erhaltungsaufwand?
 - **Fall 2:** Für Objekte auf einem Strassen- oder Netzabschnitt stehen in den nächsten Jahren Erhaltungsmassnahmen an. Wie kann man diese Einzelmassnahmen zu finanziell nachhaltigen Erhaltungsprojekten bündeln und auf der Zeitachse anordnen?
 - **Fall 3:** Für eine neue Lichtsignalanlage liegen Offerten verschiedener Lieferanten vor, die sich hinsichtlich Anschaffungskosten, Energieverbrauch, Wartungsaufwand, garantierter Zuverlässigkeit und Nutzungsdauer unterscheiden. Welche Unterschiede ergeben sich daraus zwischen den Angeboten hinsichtlich der Lebenszykluskosten für diese Lichtsignalanlage?
- In welchem **Zustand** (vgl. Kap. 3.1.5) befinden sich die zu betrachtenden Strassenabschnitte und Objekte zu Beginn der langfristigen Kostenschätzung? Wenn am Anfang der Kostenschätzung Neu-/Ausbauprojekte oder umfassende Erhaltungsmassnahmen stehen, befinden sich die Strassenabschnitte und Objekte nach deren Inbetriebnahme in neuwertigem Zustand? Werden in absehbarer Zeit Aus- oder Umbauten erwartet?
- **Bau unter Betrieb:** Wenn am Anfang der Kostenschätzung Neu-/Ausbauprojekte oder umfassende Erhaltungsmassnahmen stehen, werden die betrachteten Strassenabschnitte bzw. Objekte weiter genutzt und sind entsprechend Betriebskosten zu betrachten?

4.3 Anforderungen und Rahmenbedingungen klären

Anhand von folgenden Fragen werden die der Kostenschätzung zugrundeliegenden Anforderungen und Rahmenbedingungen beschrieben:

- Mit welchen **Verkehrsmengen** (durchschnittlicher täglicher Verkehr DTV, Schwerverkehrsanteil) ist auf den betrachteten Strassenabschnitten im Betrachtungszeitraum zu rechnen? Wie wird sich der Verkehr entwickeln? Wird es im Betrachtungszeitraum Aus- oder Umbauten auf benachbarten Strassenabschnitten oder Veränderungen der Raumnutzung im Umfeld geben, durch die sich die Verkehrsmengen auf den betrachteten Strassenabschnitten verändern?
- **Infrastrukturdichte:** Verfügen die betrachteten Strassenabschnitte über einen überdurchschnittlichen Anteil von Stützmauern/Kunstabauten, Entwässerungsleitungen und Schächten, Kabelrohrblöcken, Rastplätzen, ÖV-Anlagen, Rad-/Gehwegen (= hohe Infrastrukturdichte), oder verlaufen sie in offener Strecke durch ländliches Gebiet, ohne aufwendige Infrastrukturen, ohne/wenige Werkleitungen, Entwässerung über die Schulter (= geringe Infrastrukturdichte)?
- **Betriebs- und Sicherheitsausrüstung:** Mit welcher BSA sind die betrachteten offenen Strassenabschnitte ausgestattet? Sind sie beleuchtet, gibt es dynamische Verkehrslenkungsanlagen, Pannestreifenumnutzung o.ä. (= hoher Ausrüstungsgrad), oder sind sie unbeleuchtet und ohne Verkehrslenkungsanlagen (= niedriger Ausrüstungsgrad)?
- **Tunnel:** Gibt es auf den Strassenabschnitten Tunnel? Wie lang sind diese? Sind sie einröhrig, zwei- oder mehrröhrig (ein Tunnel gilt als mehrröhrig, wenn die Tunnelröhren parallel verlaufen und betrieblich zusammenhängen)? Übersteigt der Ausrüstungsgrad der Tunnel die Standardanforderungen bezüglich Beleuchtung, Lüftung oder Sicherheit, und/oder ist im Tunnel ein Pannestreifen vorhanden (= hoher Ausrüstungslevel)?
- **Winterdienst:** Befinden sich die betrachteten offenen Strassenabschnitte in hoher Lage, mit viel Niederschlag, mit angrenzenden Anlagen, welche schneefreien Zugang erfordern, mit hohem manuellem Schneeräumungsaufwand (= überdurchschnittliche Anforderungen an den Winterdienst)? Oder in tiefen Lagen, mit wenig Niederschlag und entsprechend geringem Winterdienstaufwand?
- **Grünpflege:** Verfügen die betrachteten offenen Strassenabschnitte über breite seitliche Grünstreifen, liegen sie an steilen Hängen und/oder sind sie speziell bepflanzt (= hohe Anforderungen an die Grünpflege)? Oder haben viele Strassenabschnitte keine Grünstreifen, oder sind vorhandene Grünflächen ausschliesslich mit Gras bepflanzt (= geringe Anforderungen an die Grünpflege)?
- **Reinigung:** Sind die betrachteten Strassenabschnitte mit Lärmschutzwänden, speziellen Entwässerungsanlagen, Tunnelauskleidungen o.ä. ausgestattet, und/oder verfügen sie über spezielle Flächen – Parkplätze, Langsamverkehrsflächen, ÖV-Flächen, Fluchtwege –, die einen speziellen Reinigungsaufwand bedingen? Oder fehlen Einrichtungen, die normalerweise zu reinigen wären, weitgehend?
- **Strassenabwasserbehandlungsanlagen:** Verfügen die betrachteten Strassenabschnitte über SABAs? Von welcher Leistungsklasse? Wie gross ist die zu entwässernde Strassenfläche? In welchem Zustand sind die SABAs zu Beginn des Betrachtungszeitraums?
- **Kleiner/projektfreier baulicher Unterhalt, Unterhaltsstrategie:** Sind die betrachteten Strassenabschnitte und Objekte in einem Zustand, der ein grosses Mass an Inspektionen oder ad-hoc-Reparaturen erfordert? Betreibt man aufwendigen proaktiven baulichen Unterhalt, um die Objekte immer in gutem Zustand zu halten? Oder sind die Anforderungen an den kleinen baulichen Unterhalt gering – weil es wenige Objekte gibt, die kleinen baulichen Unterhalt bedingen, oder weil diese Objekte a priori in einem guten Zustand sind?

4.4 Räumliche und funktionale Systemgrenzen festlegen

Grundsätzlich geht es um Strassenabschnitte und Objekte im Eigentum des ASTRA, wie sie in der Ausgangslage definiert sind. Je nach Fragestellung und Gestaltungsspielraum können Systemgrenzen aber auch weiter gefasst werden, wenn folgende Fragen mit Ja beantwortet werden:

- Haben bauliche Massnahmen auf den betrachteten Strassenabschnitten bzw. bei den betrachteten Objekten betriebliche und/oder verkehrliche Folgen für benachbarte Strassenabschnitte und Objekte im Eigentum des ASTRA, die deren Kosten oder Nutzungsdauer beeinflussen?
- Stehen auf benachbarten Strassenabschnitten bzw. Objekten bauliche Massnahmen an, die die Kosten auf den betrachteten Strassenabschnitten/Objekten beeinflussen würden? Gibt es Synergien, wenn man die Massnahmenplanung entsprechend koordiniert?

4.5 Betrachtungszeitraum bestimmen

Die Länge des Betrachtungszeitraums für die Schätzung der Kosten im Zeitablauf richtet sich nach dem Zweck der Kostenschätzung:

Tab. 4.1 empfohlener Betrachtungszeitraum je nach Ziel der Kostenschätzung (Beispiele)

Zweck der Kostenschätzung (Beispiele)	empfohlener Betrachtungszeitraum
Bestimmen der Folgekosten einer Investition über die Zeit, in der der betrachtete Strassenabschnitt in seiner bestehenden Form, ohne grössere Aus- oder Umbauten, betrieben werden soll.	Fixer Betrachtungszeitraum entsprechend der Verkehrsplanung; Zeitraum, für den mit genügender Sicherheit angenommen werden kann, dass die Funktion der bzw. die funktionalen Anforderungen an die betrachteten Strassenabschnitte und Objekte gleichbleiben.
Bestimmen des durchschnittlichen jährlichen Mittelbedarfs für die Strassenerhaltung.	Nutzungsdauer der langlebigsten Objekte auf dem betrachteten Strassenabschnitt (ausser Fundationen, langlebigen Kunstbauten oder Tunnelrohbau). In den Anwendungsbeispielen (Kapitel 5) wird ein Betrachtungszeitraum angenommen, der fünfundfünfzig Betriebsjahre umfasst. Das deckt die Nutzungsdauer der meisten Objekte ab (vgl. Tabelle 3.9). Am Ende dieses Zeitraums werden noch einmal umfangreiche Erhaltungsmassnahmen angenommen, und danach würde der Zustand des betrachteten Abschnitts fast wieder als neuwertig gelten. Mit den 50 Betriebsjahren wäre also gewissermassen ein Lebenszyklus definiert, und die so ermittelten Jahreskosten können als Lebenszykluskosten angesehen werden. Auch wenn der Strassenabschnitt schon vorher aus- oder umgebaut wird, sind diese Jahreskosten ein Benchmark für den Erhaltungsaufwand.
Kostenvergleich von Planungsvarianten auf einem Strassenabschnitt, bei denen Massnahmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten vorgesehen sind, die am Ende zum selben Strassenzustand führen.	Zeitraum, in dem sich die jährlichen Ausgaben von Variante zu Variante unterscheiden (Annahme: am Ende ist das jährliche Ausgabenprofil wieder gleich).
Kostenvergleich von gleichartigen Objekten mit unterschiedlicher Nutzungsdauer.	Nutzungsdauer des langlebigsten Objekts.

Innerhalb des Betrachtungszeitraums sollte die Funktion der betrachteten Strassenabschnitte und Objekte idealerweise gleichbleiben. Wenn im Betrachtungszeitraum Aus- oder Umbauten erwartet werden – zum Beispiel aus Kapazitätsgründen, durch technischen Fortschritt oder wegen neuer Normen und Gesetze – müssen sie in Form von Szenarien funktional und zeitlich definiert werden.

4.6 Erhaltungsplanung konkretisieren und gestalten

Gestaltungsbedarf und Gestaltungsmöglichkeiten richten sich nach den Fragestellungen der langfristigen Kostenschätzung. Die Überlegungen, die anzustellen sind, werden im Folgenden anhand der im Kapitel 4.2 skizzierten Fallbeispiele erläutert:

Fall 1: Ein Strassenabschnitt oder ein Objekt soll mit einem umfassenden Erhaltungsprojekt saniert werden. Wie hoch ist der zukünftige Betriebs- und Erhaltungsaufwand?

- **Anfangsinvestition:** Im Fallbeispiel liegt ein Erhaltungsprojekt vor. Gestaltungsspielraum besteht allenfalls hinsichtlich dem Projektumfang, der Wahl von Objekttypen und Materialien und dem Bauprogramm. Der Gestaltungsspielraum nimmt mit dem Projektfortschritt ab (Projektgenerierung → Massnahmenkonzept → Massnahmenprojekt/Ausführungsprojekt).
- **Betrieblicher Unterhalt, kleiner baulicher Unterhalt:** Wird für die Kostenschätzung die in Kapitel 3.1.2 beschriebene Norm VSS 41 826 verwendet, ist damit ein Unterhaltprogramm gemäss den Dimensionen, Rahmenbedingungen und Anforderungen in den Systemgrenzen impliziert, das sich an schweizerischen Standards orientiert. Auch auf Objektebene beschreiben Fachhandbücher des ASTRA standardisierte Instandhaltungsprozesse. Gestaltungsspielraum besteht hinsichtlich der Frage, ob spezieller Aufwand für präventiven Unterhalt eingesetzt werden soll. Gestaltungsspielraum besteht zudem in der Schätzung des Unterhaltsaufwands für neuwertige Strassenabschnitte und Objekte sowie in der Schätzung der Aufwandsentwicklung mit zunehmender Abnutzung und Alterung.
- **Projektgestützter Unterhalt, Folgemaassnahmen:** Bedarf und Zeitpunkt für Folgemaassnahmen sind grundsätzlich durch die angenommenen Nutzungsdauern von Objekten im betrachteten Strassenabschnitt definiert. Gestaltungsspielraum besteht in der Art und Weise, wie Einzelmassnahmen aufeinander oder mit Massnahmen in benachbarten Strassenabschnitten abgestimmt sind. Wenn immer möglich sollten Massnahmen zu Paketen geschnürt werden, was mit dem Vorziehen oder dem Hinausschieben von Einzelmassnahmen verbunden sein kann. Innerhalb der Prämisse, dass im Betrachtungszeitraum keine wesentlichen funktionalen Anpassungen an den betrachteten Strassen und Objekten vorgenommen werden, besteht natürlich auch Gestaltungsspielraum hinsichtlich des Ersatzes von Teilobjekten mit besser geeigneten oder moderneren Systemen und Komponenten.

Fall 2: Für Objekte auf einem Strassen- oder Netzabschnitt stehen in den nächsten Jahren Erhaltungsmassnahmen an. Wie kann man diese Einzelmassnahmen zu finanziell nachhaltigen Erhaltungsprojekten bündeln und auf der Zeitachse anordnen?

- **Anfangsinvestitionen:** Im Fallbeispiel sind die Erhaltungsmassnahmen, die am Beginn der langfristigen Kostenschätzung stehen, definiert; allenfalls gibt es Optionen bezüglich der Wahl von Objekttypen oder Materialien. Zu gestalten ist die zeitliche Abfolge dieser Erhaltungsmassnahmen (initiales Erhaltungsprogramm). Dabei spielt eine Rolle, ob andere Erhaltungsmassnahmen auf dem betrachteten oder benachbarten Strassenabschnitten anstehen, die Synergien ermöglichen. Für die Entscheidungsfindung ist wesentlich, mit welchen relativen Kostenentwicklungen zu rechnen ist, wenn man Erhaltungsmassnahmen hinauszögert. Bei zunehmendem Verkehr können Erhaltungsmassnahmen schwieriger und teurer werden, je länger man zuwartet.
- **Betrieblicher Unterhalt, kleiner baulicher Unterhalt:** Im Fallbeispiel ist massgeblich, ob es zwischen den alternativen Erhaltungsprogrammen Unterschiede im betrieblichen und kleinen baulichen Unterhaltsaufwand gibt und, wenn ja, für welche Produkte des betrieblichen Unterhalts dies gilt. Anzunehmen wäre beispielsweise, dass es mehr Inspektionen oder kleine Reparaturen braucht, wenn ein Schritt im Erhaltungsprogramm hinausgezögert wird. Produkte, bei denen in allen Programmalternativen derselbe Unterhaltsaufwand zu erwarten ist, brauchen in der Differenzkostenrechnung nicht betrachtet zu werden.

- **Folgemassnahmen:** Wenn anzunehmen ist, dass nach dem letzten Schritt im initialen Erhaltungsprogramm grundsätzlich dieselben Erhaltungsanforderungen auf dem betrachteten Strassenabschnitt bestehen, endet der Betrachtungszeitraum. Folgemassnahmen brauchen für den Entscheid über das initiale Erhaltungsprogramm nicht betrachtet zu werden.

Fall 3: Für eine neue Lichtsignalanlage liegen Offerten verschiedener Lieferanten vor, die sich hinsichtlich Anschaffungskosten, Energieverbrauch, Wartungsaufwand und Garantie (Zuverlässigkeit, Nutzungsdauer) unterscheiden. Welche Unterschiede ergeben sich daraus zwischen den Angeboten hinsichtlich der Lebenszykluskosten für diese Lichtsignalanlage?

- **Anfangsinvestitionen und Betrieb:** Hier sind mit den Spezifikationen der Ausschreibung und mit den Angaben der Anbieter alle wesentlichen Merkmale der Investition und des Betriebes definiert. Zu prüfen ist, ob die Angebote plausibel und vertrauenswürdig sind. Allenfalls fehlende Angaben für die Kostenschätzung sind mit eigenen Annahmen zu ergänzen. Aus Betreibersicht ist auch zu prüfen, ob in Zeiten, in denen die Lichtsignalanlage wegen Wartung oder erwarteter Ausfälle nicht verfügbar ist, Verkehrslenkungsmassnahmen mit besonderen Kosten einzuplanen sind.
- **Folgemassnahmen:** Folgemassnahmen spielen im Angebotsvergleich nur dann eine Rolle, wenn ein Anbieter eine wesentlich kürzere Lebensdauer als seine Konkurrenten garantiert. Statt einer Ausgabenrechnung, bei der im Falle dieses Angebots Folgemassnahmen mit entsprechenden Investitionsausgaben definiert werden müssen, könnte man hier auch eine Kostenrechnung mit Abschreibungen durchführen. Wenn das Angebot mit der kürzesten Lebensdauer sonst ähnliche Investitionen aufweist wie die Konkurrenz, würde es mit höheren Abschreibungen «bestraft»; auf die Definition von Folgemassnahmen könnte man dann verzichten. Vgl. dazu das nächste Kapitel.

4.7 Kostenmodell

4.7.1 Ausgabenrechnung versus Kostenrechnung

Grundsätzlich ist zu empfehlen, die langfristige Kostenschätzung als dynamische Ausgabenrechnung anzulegen. Die dynamische Ausgabenrechnung zeigt Investitionen und Betriebskosten als jährliche (oder allenfalls monatliche) Cash-Flows. Alle Annahmen an den Cash-Flow (wie Ausgaben für Erhaltungsmassnahmen von Objekten nach Ablauf der Nutzungsdauer) werden in der Ausgabenrechnung explizit ersichtlich. Auch in der Kosten-Nutzen-Analyse à la NISTRA werden entsprechende Zahlungsströme betrachtet.

In der Kostenrechnung werden keine Investitionsausgaben, sondern Abschreibungen dargestellt. In den Abschreibungen sind die angenommenen Nutzungsdauern implizit berücksichtigt. Bei linearer Abschreibung teilt man die Anfangsinvestition in ein Objekt durch seine Nutzungsdauer und erhält so jährlich gleichbleibende Abschreibungsraten. Wenn das Objekt am Ende der Nutzungsdauer erneuert oder ersetzt wird, führt die entsprechende Investition zu einer neuen Folge von Abschreibungen. Die Kostenrechnung entspricht der Summe aus Abschreibungen und laufenden Betriebsausgaben.

Tab. 4.2: Illustration einer Ausgabenrechnung und einer Kostenrechnung bei Investitionen mit unterschiedlicher Nutzungsdauer und linearer Abschreibung

Jahr	Investitionsausgaben (zu Jahresbeginn)		Betriebsausgaben	Abschreibungen am Jahresende	Ausgabenrechnung (Σ Investitions- und Betriebsausgaben)	Kostenrechnung (Σ Betriebsausgaben und Abschreibungen)
	Objekte mit ND 5 Jahre	Objekte mit ND 10 Jahre				
1	-100	-100	-10	-30	-210	-40
2			-10	-30	-10	-40
3			-10	-30	-10	-40
4			-10	-30	-10	-40
5			-10	-30	-10	-40
6	-100		-10	-30	-110	-40
7			-10	-30	-10	-40
8			-10	-30	-10	-40
9			-10	-30	-10	-40
10			-10	-30	-10	-40
Σ	-200	-100	-100	-300	-400	-400

Eine Kostenrechnung mit Abschreibungen ist vor allem dann von Interesse, wenn Objekte vor Ablauf ihrer Nutzungsdauer ersetzt werden sollen. Weil bei strassenbezogenen Objekten meist kein Restwert erlöst werden kann, wird eine Sonderabschreibung nötig. Dieser Sonderabschreibung sollte ein entsprechender Nutzen, beispielsweise eine Betriebskostensparnis, gegenüberstehen, so dass der vorzeitige Ersatz des Objekts wirtschaftlich gerechtfertigt ist.

4.7.2 Diskontierung und Barwertbildung: In welchen Fällen?

Wenn es keine Alternativen gibt, die sich hinsichtlich des Massnahmen- und damit Ausgabenzeitpunkts unterscheiden, kann man die langfristigen Kosten (wie in der Illustration oben) als Summe der periodischen Ausgaben darstellen. Beim Vergleich beispielsweise von Erhaltungsprogrammen, die sich in den Massnahmenzeitpunkten unterscheiden, empfiehlt sich jedoch eine Diskontierung und ein Vergleich von sogenannten Bar- oder Gegenwartswerten.

Der Gegenwartswert einer zukünftigen Ausgabe ergibt sich durch Abzinsung mit einem Diskontierungsfaktor. Wenn ich in einem Jahr 100 Franken ausgeben muss und am Kapitalmarkt einen Zins von 2% erwarten kann, muss ich heute nur etwas über 98 Franken zurückstellen; mit dem Zinsertrag habe ich in einem Jahr die 100 Franken zur Verfügung:

$$98,04 + 98,04 \times 2\% = 98,04 \times (1 + 2\%) = 98,04 \times 1,02 = 100,00$$

Der Gegenwartswert der Ausgabe von 100 Franken in einem Jahr beträgt bei 2% Zins also

$$98,04 = \frac{100}{1 + 2\%}$$

wobei der Zinssatz auch als Diskontsatz bezeichnet wird. Bei diesem Diskontsatz von 2% beträgt der Gegenwartswert einer Ausgabe von 100 Franken in fünf Jahren 90,573 Franken, entsprechend der Zinseszinsrechnung

$$90,573 \times 1,02 \times 1,02 \times 1,02 \times 1,02 \times 1,02 = 90,573 \times 1,02^5 = 100$$

$$90,573 = \frac{100}{(1 + 2\%)^5}$$

Allgemein lautet die Formel für den Gegenwartswert oder Barwert im Betrachtungszeitpunkt 0 für einen Strom von Ausgaben A in den Jahren 1 bis T bei einem Diskontsatz von r also

$$BW_0 = \sum_{t=1}^T \frac{A_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^T A_t \times (1+r)^{-t}$$

Das folgende Beispiel illustriert für einen Ausgabenstrom in den Jahren 1 bis 10 die Bildung der Bar- oder Gegenwartswertes zum Zeitpunkt 0:

Tab. 4.3: Illustration der Barwertbildung bei einem Diskontsatz von 2%

Jahr t	Ausgaben A _t	Diskontierungsfaktor (1 + 2%) ^{-t}	Barwert oder Gegenwartswert im Jahr 0
1	-210	0.9804	-205,88
2	-10	0.9612	-9.61
3	-10	0.9423	-9.42
4	-10	0.9238	-9.24
5	-10	0.9057	-9.06
6	-110	0.8880	-97.68
7	-10	0.8706	-8.71
8	-10	0.8535	-8.53
9	-10	0.8368	-8.37
10	-10	0.8203	-8.20
Σ	-400		BW₀ = -374,70

Eine Barwertbildung wird auch für Kosten-Nutzen-Analysen für Strassen stipuliert [31]. In der entsprechenden Detailnorm [32] wird anhand von ökonomischen Analysen ein Diskontsatz von 2% festgelegt. In Sensitivitätsanalysen wird mit 3% gerechnet.

4.7.3 Kostenschätzung

Anfangsinvestition:

- Für die Anfangsinvestition liegt im Allgemeinen ein Projekt und damit auch eine Kostenschätzung vor. Alle Kosten dieser Kostenschätzung gehen in die langfristige Kostenbetrachtung ein.
- Wenn Eigenleistungen des ASTRA in der Projektkostenschätzung nicht ausgewiesen sind, ist ein Zuschlag von 4% anzunehmen [41]
- Die Kosten sind mit einem geeigneten Teuerungsindex (z.B. Teuerungsindex Nationalstrassen, Baupreisindex Neubau Strasse) auf das allgemeine Preisniveau des Betrachtungszeitpunkts hochzurechnen.
- Der Unsicherheitsbereich der Kostenschätzung (±%) richtet sich nach der Planungsphase.
- Die zeitliche Verteilung der Investitionsausgaben richtet sich nach dem erwarteten Planungsablauf und dem Bauprogramm.

Ausgaben für betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt:

- Die periodischen Ausgaben für den betrieblichen und den kleinen baulichen Unterhalt sind prozessbezogen anhand von Kennzahlen und Erfahrungswerten zu schätzen.
- Für grobe Kostenschätzungen kann die Norm VSS 41 826 [37] verwendet werden. Zu berücksichtigen ist, dass diese Norm nicht für Strassenabwasserbehandlungsanlagen gilt.
- Die Norm VSS 41 826 liefert für verschiedene Strassentypen eine Schätzung der jährlichen Unterhaltsausgaben pro Meter, in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung und von den lage- und zustandsbedingten Anforderungen an den Unterhalt. Der Wert gilt für alle Produkte des betrieblichen Unterhalts und umfasst auch die Gemeinkosten.

- Die Kostensätze der Norm sind, wie in der Norm stipuliert, mit dem Baupreisindex Neubau Strasse auf das allgemeine Preisniveau des Betrachtungszeitpunkts hochzurechnen.
- Die Normwerte gelten für den Durchschnitt schweizerischer Strassen. Wir schlagen vor, für neuwertige Strassen die Kosten für den kleinen baulichen Unterhalt auf ein Viertel des Normwerts zu reduzieren. Danach steigen die Ausgaben für den kleinen baulichen Unterhalt um 10% pro Jahr. Nach knapp 15 Jahren ist so das Preisniveau der Norm erreicht. Wegen der weiteren Alterung ist auch danach dasselbe jährliche Ausgabenwachstum anzunehmen, solange keine grösseren, projektmässigen Erhaltungsmassnahmen erfolgen. Durch grössere Erhaltungsmassnahmen (Folgeprojekte) im Betrachtungszeitraum werden die Ausgaben für den kleinen baulichen Unterhalt wieder unter die Normwerte zurückgesetzt.
- Die Norm modelliert je nach Strassentyp einen belastungsbedingten Anstieg der Ausgaben für betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt mit zunehmendem Verkehr. Zusätzlich stipuliert die Norm in ihrem Kapitel 12.1 ein reales Ausgabenwachstum (d.h. ein Ausgabenwachstum über die allgemeine Preisentwicklung hinaus) von 1% pro Jahr. Begründen lässt sich dies mit der Schwierigkeit, bei zunehmendem Verkehr Unterhalts- und Erhaltungsmassnahmen auszuführen (z.B. höhere Kosten wegen mehr Nacht- und Wochenendarbeit). Im Einzelfall ist zu prüfen, ob diese Wachstumsrate zu einer plausiblen Kostenentwicklung führt.

Ausgaben für Erhaltungsmassnahmen im Betrachtungszeitraum (Folgeprojekte):

- Die Ausgaben für Folgeprojekte zum Ausbau und Ersatz von Objekten, die im Betrachtungszeitraum das Ende der Nutzungsdauer erreichen, werden aus den direkten Objektkosten der auf die Preisbasis des Betrachtungszeitpunkts hochrechneten Anfangsinvestition abgeleitet.
- Aufgrund der zunehmend schwierigeren Ausführung ist es plausibel, eine reale Zunahme der Ausgaben anzunehmen wie im betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt. Es können aber durchaus auch andere reale Kostenentwicklungen bis hin zu einer realen Abnahme der Einheitskosten für Folgeprojekte angenommen werden. Vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 4.7.5.
- Für Gemeinkosten (Planung, Projektierung, ASTRA-Eigenleistung) sind Zuschläge vorzusehen.
- Für ein Folgeprojekt ist eine geeignete zeitliche Verteilung der Ausgaben anzunehmen.

4.7.4 Abschreibungen, Rückbaukosten, Restwerte

Ist die langfristige Kostenanalyse – wie hier generell empfohlen – als dynamische Ausgabenrechnung angelegt, sind keine Abschreibungen zu berücksichtigen.

Rückbaukosten sind in der Anfangsinvestition oder in den Kosten von Folgeprojekten enthalten, wenn im Zuge der Projekte bestehende Objekte durch neue ersetzt werden. Rückbaukosten für einen kompletten Rückbau eines Strassenabschnitts am Ende des Betrachtungszeitraums sind unwahrscheinlich und werden hier deshalb nicht betrachtet.

In der dynamischen Cash-Flow-Rechnung würden Restwerte nur dann erscheinen, wenn für Objekte der Strasseninfrastruktur am Ende des Betrachtungszeitraums effektiv ein Verkaufserlös erzielt werden kann. Da dies unwahrscheinlich ist, werden Restwerte hier nicht betrachtet.

4.7.5 Teuerung, relative Kostenentwicklungen

Grundsätzlich gibt es drei Effekte, die die Kostenentwicklung über die Zeit beeinflussen:

Allgemeine Bauteuerung → nicht berücksichtigen

Löhne und Preise im Bausektor entwickeln sich konjunkturbedingt, aufgrund von Rohstoffpreisveränderungen oder aufgrund von veränderten Rahmenbedingungen. Im Einklang mit dynamischen, langfristige Wirkungen berücksichtigenden Projektbewertungsverfahren sollte die LZK-Analyse jedoch auf der Preisbasis des Betrachtungszeitpunkts vorgenommen

men werden. So vermeidet man es, Unsicherheiten der Kostenschätzung durch zusätzliche Annahmen an die unsichere allgemeine oder bauspezifische Lohn- und Preisentwicklung zu vergrössern, und erhält eine definierte Grundlage für Kostenvergleiche. Eine allgemeine Teuerungsrechnung entfällt also.

Belastungseffekt, Abnutzung → wirkt auf die Kostenentwicklung im betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt

Durch Veränderungen in der Verkehrsbelastung verändert sich der Aufwand, der nötig ist, um die Gebrauchstauglichkeit einer Strasse und ihrer Objekte über die erwartete Nutzungsdauer zu erhalten. Zunehmender Verkehr bedingt im betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt häufigere und allenfalls umfangreichere Massnahmen zur Erhaltung der Gebrauchstauglichkeit. Dieser Effekt ist beispielsweise in den Algorithmen für die Kostenberechnung gemäss der Norm VSS 41 826 [37] enthalten.

Zugänglichkeitseffekt → wirkt auf die Kosten im Unterhalt und auf die Kosten von Folgemassnahmen

Die Kosten für betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt sowie die Kosten von projekt-mässigen Erhaltungs-massnahmen nach der Anfangsinvestition dürften mit zunehmendem Verkehr schneller steigen als die allgemeine Bauteuerung. Mit zunehmendem Verkehr wird es schwieriger, Massnahmen in normalen Arbeitszeiten durchzuführen; entweder ist besonderer Sicherungsaufwand nötig, oder Arbeiten finden häufiger in teuren Nacht- oder Wochenendstunden statt. So geht die Norm VSS 41 826 [37] davon aus, dass die Kosten des betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalts um einen Prozentpunkt schneller steigen als die allgemeine Bauteuerung. Vgl. oben Kapitel 4.7.3.

Weitere Kosteneffekte

Andere Tatbestände, zum Beispiel der Einsatz besserer Materialien, technischer Fortschritt oder effizientere Ausführungsverfahren, können auch andere reale Kostenentwicklungen bis hin zu einer realen Abnahme der Einheitskosten möglich machen (Kosten bestimmter Massnahmen oder Prozesse entwickeln sich langsamer oder entgegen der allgemeinen Bauteuerung). In jedem Fall sind Annahmen an reale Kostenentwicklungen zu begründen.

4.7.6 Berücksichtigung von Kapitalkosten, Steuern und Abgaben

Kapitalkosten sind in der Lebenszykluskostenanalyse im Allgemeinen nicht explizit zu berücksichtigen. Projekte des ASTRA werden nicht über den Kapitalmarkt finanziert und tragen daher von sich aus keine Kapitalkosten. Allfällige Kapitalkosten der Unternehmer, z.B. für Vorfinanzierungen, Versicherungen oder Garantien, sind implizit in den Projektkostenrechnungen enthalten. Allenfalls könnten Kapitalkosten eine Rolle spielen, wenn das ASTRA Public-Private-Partnerships oder Konzessionierungsmodelle für Verkehrsinfrastrukturen erwägt und abschätzen will, wie hoch allfällige Abgeltungen an Private sein würden. Auf absehbare Zeit wird dies jedoch nicht vorkommen.

In dieser Dokumentation geht die Mehrwertsteuer, die das ASTRA direkt oder auf Rechnungen seiner Beauftragten zahlt, nicht in die Lebenszykluskostenanalyse ein.

4.8 Unsicherheiten, Sensitivitätsanalysen

Die wesentlichen Treiber der Lebenszykluskosten von Strassen sind die Anfangsinvestitionen und die Folgeprojekte im Betrachtungszeitraum. Die Kosten des betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalts haben ein eher kleines Gewicht in der Lebenszykluskostenanalyse.

Entsprechend dem grossen Gewicht der Anfangsinvestitionen und der Folgeprojekte in der Lebenszykluskostenschätzung bestehen die grössten Unsicherheiten

- im Unsicherheitsbereich der initialen Kostenschätzung
- in der Nutzungsdauer von Objekten und damit im Zeitpunkt von Folgeprojekten der Erhaltung (z.B. Belagsersatz)
- in der relativen Entwicklung der Kosten für diese Folgeprojekte.

Es ist daher zu empfehlen, speziell in diesen Bereichen Sensitivitätsanalysen durchzuführen:

- Wie sieht die langfristige Rechnung aus, wenn man die initiale Kostenschätzung – und damit die Kosten der Folgeprojekte – am oberen Ende des Unsicherheitsbereichs ansiedelt?
- Wie ändert sich die langfristige Rechnung mit kürzeren Nutzungsdauern von teuren Objekten und entsprechend früheren bzw. häufigeren Erhaltungsprojekten oder mit längeren Nutzungsdauern und entsprechend späteren bzw. selteneren Erhaltungsprojekten?
- Wie ändert sich die langfristige Rechnung, wenn man annimmt, dass die Kosten von Erhaltungsprojekten relativ zur allgemeinen Bauteuerung stärker oder weniger stark zunehmen?

Sensitivitätsanalysen können durchgeführt werden,

- **einzeln**, indem man eine Annahme variiert und alle anderen Annahmen gleich lässt
- in Form von **Szenarien**, bei denen bestimmte Kombinationen von Annahmen miteinander verglichen werden
- als gesamthafte **Unsicherheitsanalyse**, bei der Annahmehausprägungen mit Eintretenswahrscheinlichkeiten versehen und entsprechend in einer Vielzahl von Rechendurchläufen kombiniert werden (Monte-Carlo-Methode); daraus ergibt sich eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Gesamtkostenschätzung mit einem Erwartungswert (oft als P50 bezeichnet) und einer Varianz. Für solche Unsicherheitsanalysen gibt es spezielle Softwareprodukte, teils als Zusatz zu gängigen Tabellenkalkulationsprogrammen.

4.9 Darstellung der Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse richtet sich nach dem Zweck der langfristigen Kostenschätzung. Die Fallbeispiele im folgenden Kapitel zeigen verschiedene Möglichkeiten, Ergebnisse tabellarisch, grafisch oder als Kennzahlen darzustellen.

5 Anwendungsbeispiele

5.1 Übersicht

Tab. 5.1 Übersicht über die Anwendungsbeispiele

Projektphase	Projektgenerierung	Massnahmenkonzept	Massnahmenprojekt	Ausführungsprojekt
Projekttyp	Erhaltungsprojekt Nationalstrasse	Erhaltungsprojekt Tunnel	Erhaltungsmassnahmen Strassenbrücke	Neuer Autobahnanschluss und SABA
Fachbereich	T/U, K, BSA	T/G, BSA	K	T/U, K, BSA
Modellierungsgrundlage	N1 Verzweigung Wiggertal – Aarau Ost	N6 Allmendtunnel bei Thun	N8 Budelbachbrücke bei Därligen	N2 AS Rothenburg
Zweck der langfristigen Kostenschätzung	Bestimmen der langfristigen Erhaltungsausgaben und des durchschnittlichen jährlichen Erhaltungsbedarfs nach einer umfassenden Erhaltungsmassnahme		Bestimmen der kostenminimalen Erhaltungsstrategie mit VoMa und weiteren EHM	Bestimmen der langfristigen Erhaltungsausgaben und des durchschnittlichen jährlichen Erhaltungsbedarfs für den neuen Autobahnanschluss und die SABA
Betrachtungszeitraum	Initialprojekt + 50 Betriebsjahre		Bauvorbereitung VoMa bis Abschluss der spätesten Ausführungsvariante	Initialprojekt + 50 Betriebsjahre
Erstellungskosten, Anfangsinvestition	191 MCHF	84 MCHF	VoMa 2,0 MCHF weitere EHM 1,8 MCHF Synergien bei gemeinsamer Ausführung	34 MCHF
Ergebnis der langfristigen Kostenschätzung	Gesamtkosten = 846 MCHF, davon 26% betrieblicher und kleiner baulicher UH, 51% Folgemassnahmen	Gesamtkosten = 164 MCHF, davon 17% betrieblicher und kleiner baulicher UH, 32% Folgemassnahmen	Grundsätzlich wäre es am kostengünstigsten, alle Erhaltungsmassnahmen sofort und gemeinsam auszuführen. Bei VoMa sollte man die restlichen Massnahmen spät realisieren, es sei denn, zwischen den Massnahmen sei ein erheblicher Zusatzaufwand für den baulichen Unterhalt zu erwarten.	Gesamtkosten = 76 MCHF, davon 9% betrieblicher und kleiner baulicher UH, 45% Folgemassnahmen

Die Kostenschätzung für alle Anwendungsbeispiele erfolgt auf Preisbasis 2023.

Die Erklärung der Anwendungsbeispiele folgt dem in Kapitel 4 beschriebenen Prozessablauf.

In den folgenden Anwendungsbeispielen werden oftmals ähnliche Parameter angenommen, wie zum Beispiel ein Verkehrswachstum von 1% pro Jahr, ein reales Kostenwachstum von Unterhalts- und Erhaltungsmassnahmen von 1% pro Jahr oder die Nichtbetrachtung des Strassenunterhalts (betrieblicher und kleiner baulicher Unterhalt) während der Ausführung des Initialprojekts. Dies sind vereinfachende Annahmen. Im konkreten Fall ist

zum Beispiel zu prüfen, welche Aussagen zur Verkehrsentwicklung aus entsprechenden Verkehrsmodellen resultieren oder welche relativen Kostenveränderungen zu erwarten sind.

Die Berechnungsgrundlagen und Ergebnisse sind für das erste Beispiel der Projektgenerierung im Anhang detailliert dokumentiert.

5.2 Projektgenerierung: Erhaltungsprojekt Nationalstrasse



Abb. 5-1 N1 Wiggertal-Aarau Ost – Vorlage für das Anwendungsbeispiel [47]

5.2.1 Ausgangslage und Problemstellung

Im Folgenden die Annahmen an die Ausgangslage im Anwendungsbeispiel. Diese können vom tatsächlichen Projekt abweichen.

Tab. 5.2 Erhaltungsprojekt Nationalstrasse: Ausgangslage und Problemstellung

Situation	20,1 km langer Autobahnabschnitt im Mittelland mit 2 x 2 Fahrstreifen und Pannenstreifen; 5 Brücken, 21 Überführungen, 15 Unterführungen, 16 Durchlässe, 3 Rastplätze, 2 Raststätten, 2 neue Wildtierkorridore, 28 Lärmschutzwände; neue SABAs; keine Tunnel; wenig BSA.
planerische Ausgangslage	<p>Projektgenerierung im Jahr «Null» (→ Betrachtungszeitpunkt BZP) für ein umfassendes Erhaltungsprojekt</p> <p>Geplanter Beginn der Projektierung im Jahr 2 (Beschaffung von Planern und BHU vorher)</p> <p>Erste Erhaltungsmassnahmen in den Jahren 4 und 5:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Belagsersatz PA11 inkl. Markierungen und Signalisation <p>Verbleibende Erhaltungs- und Ausbaumassnahmen in den Jahren 7 bis 9:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Belagsersatz SDA8-12 - Ersatz Fahrzeugrückhaltesysteme - Ersatz Zäune - Erneuerung Markierungen und Signalisation - Erhaltungsmassnahmen an einem Brückenbauwerk (Brüstung, Abdichtung) - Erweiterung von Bachdurchlässen - Instandstellung/Ersatz von Lärmschutzwänden - Ertüchtigung Energieversorgung - Ersatz LED-Leuchten auf Rastplätzen - Erneuerung Messstellen und Kameras - Umbau NRS auf GSM/Solar - Ersatz Netzwerkkomponenten - Rückbau Beleuchtung Anschlüsse - Rückbau Steckdosen in Nebeneinrichtungen - 6 neue SABAs mit 8 Pumpwerken, Kanal und Druckleitungen

Tab. 5.2 Erhaltungprojekt Nationalstrasse: Ausgangslage und Problemstellung

	<ul style="list-style-type: none"> - Neue Wildtierbrücke - Neubau/Erhöhung von Lärmschutzwänden <p>Für das Erhaltungprojekt liegt eine Grobkostenschätzung von 191 Millionen Franken vor ($\pm 30\%$, Preisniveau des Betrachtungszeitpunkts)</p>
Zweck der langfristigen Kostenschätzung	Abschätzen des Betriebs- und Erhaltungsaufwands nach Abschluss des initialen Erhaltungprojekts.
Zustand des Strassenabschnittes nach dem Initialprojekt	Das initiale Erhaltungprojekt kommt einer umfassenden Sanierung des Strassenabschnittes und seiner Objekte gleich. Nach dem initialen Erhaltungprojekt kann der Strassenabschnitt als weitgehend neuwertig bezeichnet werden. In absehbarer Zeit werden keine Aus- oder Umbauten erwartet.
Betriebsaufwand während des Initialprojekts	Der Aufwand für den betrieblichen Unterhalt des Strassenabschnitts während der Ausführung des Initialprojekts ist hier nicht relevant und wird deshalb nicht speziell betrachtet.

5.2.2 Anforderungen und Rahmenbedingungen

Im Folgenden die Annahmen an die Anforderungen und Rahmenbedingungen im Anwendungsbeispiel.

Tab. 5.3 Erhaltungprojekt Nationalstrasse: Anforderungen und Rahmenbedingungen

Verkehr	DTV = 75'000 Fahrzeuge im ersten Betriebsjahr nach vollständiger Umsetzung des vorgeschlagenen Projekts. Annahme: jährliche Zunahme um 1%, keine Ausbauten anderer Strassen oder konkurrierender Verkehrsträger mit massgeblichem Einfluss auf den DTV im betrachteten Abschnitt; Schwerverkehrsanteil 10%, bleibt im Betrachtungszeitraum gleich
Infrastrukturdichte	Strassenabschnitt liegt ausserhalb städtischer Agglomerationen, normale Infrastrukturdichte
BSA	normaler Ausrüstungsgrad
Tunnel	keine Tunnel
Winterdienst	normale Anforderungen
Grünpflege	normale Anforderungen
Reinigung	normale Anforderungen
SABA	6 neue SABAs der Leistungsklasse 3, 8 Pumpwerke, 3'000m Neubau Kanal, 3'000m Druckleitung, zu entwässernde Gesamtfläche 60,9 ha
kleiner baulicher UH	normale Anforderungen

5.2.3 Räumliche und funktionale Systemgrenzen

Vgl. Situationsdarstellung in 5.2.1. Es geht um einen Autobahnabschnitt ab einer Autobahnverzweigung (im Projekt) bis vor einem Anschluss. Auf dem Abschnitt liegen zwei Anschlüsse an das untergeordnete Strassennetz. Verschiedene Schnittstellenprojekte haben annahmegemäss keinen Einfluss auf die Kosten des betrachteten Abschnitts. Nach Abschluss des initialen Erhaltungprojekts werden keine Kosteneinflüsse auf benachbarte Strassenabschnitte und Objekte im Eigentum des ASTRA erwartet.

5.2.4 Betrachtungszeitraum

Ziel ist die Abschätzung des langfristigen Betriebs- und Erhaltungsaufwands auf dem betrachteten Strassenabschnitt. Die betrachtete Betriebsphase umfasst daher die Nutzungsdauer der langlebigsten Objekte (ausser Foundationen/Unterbau und langlebigen Kunstbauten). Der Betrachtungszeitraum Jahr für Jahr ist aus Tabelle I-1 ersichtlich. Insgesamt gilt:

Tab. 5.4 Erhaltungprojekt Nationalstrasse: Betrachtungszeitraum

Betrachtungszeitpunkt	Zeitpunkt der Projektgenerierung, hier definiert als Jahr 0
IBN initiales EH-Projekt	10 Jahre nach BZP, gemäss Projektgenerierung
Betriebsphase	Jahr 10 bis Jahr 59 = 50 Betriebsjahre

5.2.5 Erhaltungsplanung und Kostenmodell

Die langfristige Kostenschätzung ist als dynamische Rechnung mit jährlichen Ausgaben angelegt. Die Gesamtkosten ergeben sich als Summe der jährlichen Ausgaben; auf Diskontierung und Barwertbildung wird verzichtet.

Anfangsinvestition

Die Kostenschätzung aus der Projektgenerierung ist im Anhang in Tabelle I-3 dargestellt. Sie wird je nach Objekttyp mit den Preisindizes aus Tabelle I-2 auf den Preisstand des Betrachtungszeitpunkts hochgerechnet. Die einzelnen Massnahmen werden Elementen zugeordnet. Aus der Hochrechnung und der Elementzuordnung ergibt sich das in der folgenden Tabelle dargestellte Ergebnis.

Tab. 5.5 Erhaltungsprojekt Nationalstrasse: Anfangsinvestition zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts (Jahr 0), exkl. MWSt, Nutzungsdauern gemäss Tab. 3.9

Objekt	Element	Kosten	IBN im Jahr...	Nutzungs- dauer (Jahre)
1 Trassee	1.1 TeSi UPlanS	460'000	6	15
	1.2.1 Belag PA11 und SAMI	34'690'000	6	15
	1.2.2 Belag SDA8-12 und SAMI	13'760'000	10	25
	1.3 Fahrzeugrückhaltesysteme	2'060'000	10	25
	1.4 Zäune	4'590'000	10	25
2 BSA	1.5 Markierung und Signalisation	4'590'000	6	15
	2.1 Energieversorgung	90'000	10	20
	2.2 Beleuchtung	40'000	10	20
	2.3 Verkehrszählstelle	130'000	10	20
	2.4 Überwachungsanlagen	560'000	10	20
3 Kunstbauten	2.5 Kommunikation und Leittechnik	130'000	10	20
	2.6 Kabelanlagen	350'000	10	40
	2.7 Weiteres	140'000	10	20
	3.1 Bauwerk N1-120	4'570'000	10	50
	3.2 Bachdurchlässe	26'290'000	10	50
4 SABA	3.3 diverse Objekte	1'370'000	10	50
	4.1.1 SABA (Ingenieurbau)	18'520'000	10	50
	4.1.1 SABA (EMSR)	2'060'000	10	20
	4.2 Pumpwerke	2'740'000	10	25
	4.3 Kanalneubau	3'430'000	10	50
5 Wildtierbrücke	4.4 Druckleitung	1'710'000	10	50
	5.1 Brücke und Zaun	16'000'000	10	50
6 Lärmschutzwände	6.1 Neubau	5'720'000	10	25
	6.2 Instandstellung	2'290'000	10	25
7 Regenbecken	7.1 Regenbecken	550'000	10	50
	7.2 Pumpwerke	340'000	10	25
	7.3 Druckleitungen	230'000	10	50
	7.4 Abwassergebühren	3'430'000	10	50
Direkte Kosten		150'840'000		
Gemeinkosten		40'070'000		
in Prozent der direkten Kosten		27%		
Total Projektkosten		190'910'000		

Der Projektablauf folgt den Angaben aus der Projektgenerierung (vgl. Spalte «Ausführung im Betrachtungsjahr» in Tabelle I-3). Die für das LZK-Modell getroffenen Annahmen an die Verteilung auf die einzelnen Jahre stehen in Tabelle I-4. Nach der Beschaffung eines Projektverfassers kann die Projektierung (Jahre 2-3) beginnen. Der Belagsersatz (Jahre 4-5) wird vor den restlichen Erhaltungsmassnahmen (Jahre 7-9) ausgeführt. Für die Kostenverteilung über die Ausführungsjahre des Initialprojekts ergibt sich somit folgendes Bild:

Anfangsinvestitionen
Millionen CHF zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts

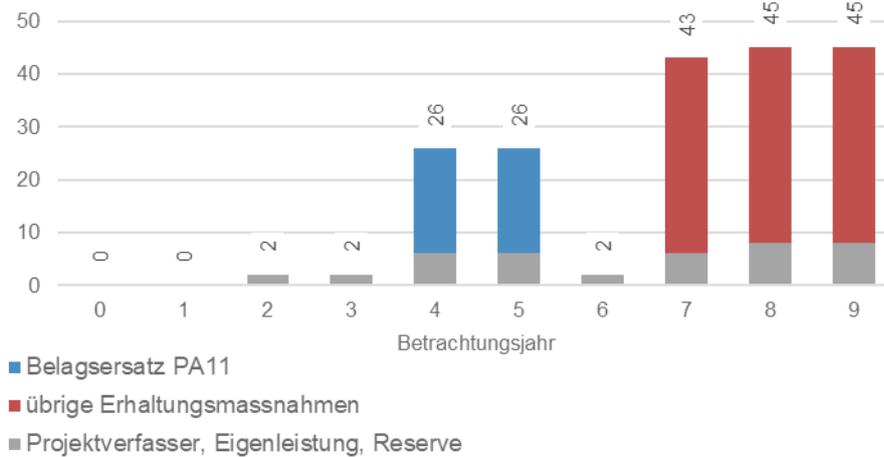


Abb. 5.2 Erhaltungprojekt Nationalstrasse: Anfangsinvestitionen im Zeitablauf

Folgeprojekte

Die Annahmen dieses Modells an die Parameter, die der Kostenschätzung für Folgemassnahmen und für Betrieb und Unterhalt nach der Anfangsinvestition zugrunde liegen, sind im Anhang in Tabelle I-5 zusammengefasst. Es handelt sich um illustrative Annahmen zur Demonstration von möglichen Kosteneinflüssen und Sensitivitätsrechnungen. Vergleiche dazu zum Beispiel Tabelle 3.5 in Kapitel 3.1.2 oder die Ausführungen in Kapitel 4.7.

Projektmässige Erhaltungsmassnahmen (Folgeprojekte) werden für alle Objekte angenommen, die im Betrachtungszeitraum das Ende ihrer Nutzungsdauer erreichen. Am Ende des Betrachtungszeitraums findet somit noch ein grosses Folgeprojekt statt, durch das der Strassenabschnitt am Ende fast wieder den Zustand erreicht, den er nach Abschluss des initialen Erhaltungprojekts hatte. In dem Sinne kann man in der Gesamtbetrachtung der durchschnittlichen jährlichen Ausgaben tatsächlich von Lebenszykluskosten sprechen.

Es wird angenommen, dass Folgeprojekte zwei Jahre vor Ablauf der Nutzungsdauer beginnen und zwei Jahre dauern. Im Betrachtungszeitraum werden keine weiteren Erhaltungsmassnahmen angenommen.

Die Kosten der Folgeprojekte werden aus den Anfangsinvestitionen abgeleitet. Dabei gelten folgende **Annahmen**:

- Grundsätzlich gelten die Preise des Betrachtungszeitpunkts («Jahr 0»). Wie in Tabelle I-5 dargestellt, wird in diesem LZK-Modell aufgrund der zunehmend schwierigen Bauausführung unter zunehmendem Verkehr eine reale Aufwandszunahme um 1% pro Betriebsjahr angenommen.
- Für die Instandstellung der neu gebauten Lärmschutzwände wird der Instandstellungspreis des Initialprojekts angesetzt.
- Wie in Tabelle I-5 dargestellt, wird in diesem LZK-Modell für die Folgeprojekte ein tieferer Gemeinkostenzuschlag angenommen als für das Initialprojekt (20% statt 27%: geringerer Projektierungsaufwand bei 1:1-Ersatz). Auch dies ist eine illustrative Annahme, die ein mögliches Vorgehen demonstriert. Bei einer konkreten LZK-Analyse müsste eine solche Annahme geprüft und allenfalls weiter differenziert werden.

In Tabelle I-6 werden die Folgemassnahmen mit ihren Basiskosten hergeleitet und zu Folgeprojekten zusammengefasst. Dazu werden die direkten Kosten der Massnahmen gemäss Zuordnung aus Tabelle I-3 mit dem oben beschriebenen Gemeinkostenzuschlag von 20% in Gesamtkosten umgerechnet. Zum Beispiel 1.3 Fahrzeugrückhaltesysteme: Direkte Kosten in CHF 2023 gemäss Tabelle I-3 2,06 MCHF + 20% = 2,472 MCHF Gesamtkosten.

Tabelle I-7 zeigt die effektiven jährlichen Ausgaben für die Folgemassnahmen unter Berücksichtigung der angenommenen Aufwandszunahme von 1% pro Betriebsjahr. Gemäss Tabelle I-6 wird das erste Folgeprojekt in den Betrachtungsjahren 18 und 19 angenommen – also 8 bis 9 Jahre nach dem ersten Betriebsjahr, vgl. Tabelle I-1 – und umfasst den Ersatz des PA11-Belags mit technischer Sicherung, Markierung und Signalisation (Massnahmen 1.1, 1.2.1 und 1.5 mit Gesamtkosten von $0,552 + 41,628 + 5,508 = 47,688$ MCHF 2023). Die Aufwandszunahme in den 8 Jahren bis zum ersten Ausführungsjahr beträgt $1,01$ hoch $8 \approx 1,083$, die bis zum zweiten Ausführungsjahr $1,01$ hoch $9 \approx 1,094$. Wendet man diese Faktoren auf die über die Ausführungsjahre annahmegemäss gleich verteilten Ausgaben an, erhält man effektive Gesamtausgaben für das erste Folgeprojekt von $23,844 \times 1,083$ plus $23,844 \times 1,094 \approx 51,9$ MCHF. Insgesamt ergibt sich für die Folgeprojekte das in der Tabelle unten dargestellte Ergebnis:

Tab. 5.6 Erhaltungsprojekt Nationalstrasse: Folgeprojekte zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts, inkl. relativer Aufwandsveränderung, Jahresangabe ausgehend vom Betrachtungszeitpunkt «Jahr 0»

Jahr	Projekt	Massnahmen	Fertigstellung	Kosten, MCHF
18-19	Erstes Folgeprojekt	• Belagsersatz PA11 (Deckschicht) und SAMI inkl. Markierung und Signalisation.	• 15 Jahre nach IBN	51,9
28-29	Zweites Folgeprojekt	• Ersatz BSA und EMSR SABA	• 20 Jahre nach IBN	4,5
33-34	Drittes Folgeprojekt	• Belagsersatz PA11 (Deckschicht) und SAMI inkl. Markierung und Signalisation • Belagsersatz SDA8-12, Fahrzeugrückhaltesysteme und Zäune, Ersatz Pumpwerke SABA, Instandstellung Lärmschutzwände	• 15 Jahre nach 1. Folgeprojekt • 25 Jahre nach IBN	100,7
48-49	Viertes Folgeprojekt	• Belagsersatz PA11 (Deckschicht) und SAMI inkl. Markierung und Signalisation • Ersatz BSA und EMSR SABA • Ersatz Kabelanlagen	• 15 Jahre nach 3. Folgeprojekt • 20 Jahre nach 2. Folgeprojekt • 40 Jahre nach IBN	76,1
58-59	Fünftes Folgeprojekt	• Belagsersatz SDA8-12, Fahrzeugrückhaltesysteme und Zäune, Ersatz Pumpwerke SABA, Instandstellung Lärmschutzwände • Umfassende Instandstellung aller Kunstbauten	• 25 Jahre nach 3. Folgeprojekt • 50 Jahre nach IBN	199,9

Betrieblicher und kleiner baulicher Unterhalt

Die Kosten des betrieblichen Unterhalts werden für die Betriebsphase im Betrachtungszeitraum bestimmt. Die Kostenschätzung gilt

- auf der Basis der Norm VSS 41 826 Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen [37] für Winterdienst, Grünpflege, Reinigung, Betriebs- und Sicherheitsausrüstung und Energieverbrauch sowie für projektfreien baulichen Unterhalt
- auf der Basis der ASTRA-Dokumentation 88002 Strassenabwasserbehandlungsverfahren [15] für Strassenabwasserbehandlungsanlagen

Tabelle I-8 im Anhang zeigt, wie die Kostenkennzahlen für den betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt im ersten Betriebsjahr unter Berücksichtigung der Parameter aus Tabelle I-5 für dieses spezielle Anwendungsbeispiel hergeleitet werden.

In den Tabellen I-9 und I-10 werden ausserdem die Betriebskosten für die SABAs hergeleitet. Gemäss Tabelle 5.3 umfasst das Erhaltungsprojekt sechs neue SABAs der Leistungsklasse 3, die eine Gesamtfläche von 60,9 ha entwässern. Aus der ASTRA-Dokumentation 88002d [15] lassen sich für SABAs der Leistungsklasse 3 auf dem Preisstand des Betrachtungszeitpunkts mittlere jährliche Unterhaltskosten von 1'925 Franken pro ha ableiten (vgl. Tabelle I-9). Für das Erhaltungsprojekt ergeben sich damit die in Tabelle I-10

hergeleiteten Kosten für den betrieblichen Unterhalt der neuen SABAs von 117'233 Franken im ersten Betriebsjahr.

Insgesamt sind die Ergebnisse für das erste Betriebsjahr in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 5.7 Erhaltungsprojekt Nationalstrasse: Grundkosten für den betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt inkl. SABA, zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts

Basiskosten pro Jahr für Autobahn/Autostrasse, offen	150,20	CHF pro Meter
Zuschlag für DTV 75'000 statt 40'000	10,96	CHF pro Meter
Zuschlag für Schwerverkehrsanteil 10% statt 6%	1,35	CHF pro Meter
Infrastrukturdichte sowie Anforderungen an Winterdienst, Grünpflege, Reinigung, kleinen baulichen Unterhalt und BSA sind normal, daher keine weiteren Zu- oder Abschläge		
= betrieblicher und kleiner baulicher Unterhalt effektiv	162,50	CHF pro Meter
Länge des Strassenabschnitts	20'100	Meter
Jahresgrundkosten für betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt auf dem betrachteten Strassenabschnitt	3,3	Millionen Franken
darin kleiner baulicher Unterhalt	0,8	Millionen Franken
jährliche Unterhaltskosten für die SABAs (Leistungsklasse 3), Mittelwert gemäss [15]	1'925,00	CHF pro Hektar entwässerter Fläche
zu entwässernde Gesamtfläche	60,9	Hektar
Jahreskosten für den SABA-Unterhalt insgesamt	0,1	Millionen Franken

Für die Kostenentwicklung des betrieblichen Unterhalts im Betrachtungszeitraum gelten folgende **Annahmen (Abb. 5.3)**:

- Gemäss Tabelle I-5 wird in diesem LZK-Modell angenommen, dass der Verkehr um 1% pro Jahr zunimmt. Entsprechend dem Algorithmus in VSS 41 826 nehmen dadurch die Kosten des betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalts um rund 33 Rappen je 1000 zusätzlicher Fahrzeuge pro Tag zu (Preisniveau des Basisjahrs). Die Norm bewertet damit den Abnutzungseffekt durch die zusätzliche Verkehrsbelastung (vgl. Kapitel 4.7.3 und 4.7.5).
- Gemäss Tabelle I-5 und entsprechend der Norm wird in diesem LZK-Modell angenommen, dass der Aufwand für den betrieblichen und den kleinen baulichen Unterhalt wegen zunehmend schwierigerer Bauausführung um 1% pro Jahr steigt (vgl. Kapitel 4.7.3 und 4.7.5 und die dort beschriebene Annahme, dass zunehmender Verkehr die Zugänglichkeit der Strasse zu normaler Arbeitszeit erschwert und deshalb mehr teure Nacht- oder Wochenendarbeit vorzusehen ist (Zugänglichkeitseffekt).
- Tabelle I-5 zeigt auch die Annahmen dieses LZK-Modells an die Entwicklung der Kosten für den kleinen baulichen Unterhalt: Im ersten Betriebsjahr nach dem Initialprojekt liegen die Kosten annahmegemäss bei einem Viertel des Normwerts. Bis zum nächsten Erhaltungsprojekt steigen die Kosten des projektfreien baulichen Unterhalts um 10% pro Jahr (vergleiche Kapitel 4.7.3 und Tabelle I-11). Mit den Folgeprojekten werden die Kosten des projektfreien baulichen Unterhalts je nach Massnahmenumfang und betroffenem Objekttyp wieder zurückgesetzt. Dabei wird folgendes angenommen:
 - Erstes Folgeprojekt (Belagsersatz PA11): um 50% auf 50% des Vorjahreswerts – relativ hohe Wirkung des Belagsersatzes auf die KBU-Kosten
 - Zweites Folgeprojekt (Ersatz BSA, EMSR SABA): um 5% auf 95% des Vorjahreswerts – hier wird nur Elektronik ersetzt, mit geringerer Wirkung auf die Kosten des kleinen baulichen Unterhalts
 - Drittes Folgeprojekt (Umfassender Belagsersatz, Ersatz Pumpwerke, Instandstellung Lärmschutz): um 65% auf 35% des Vorjahreswerts
 - Viertes Folgeprojekt (Belagsersatz PA11 sowie Ersatz BSA/EMSR): um 50% auf 50% des Vorjahreswerts, wie im ersten Folgeprojekt
 - Das fünfte Folgeprojekt findet am Ende des Betrachtungszeitraums statt; der betriebliche Unterhalt danach geht nicht mehr in die LZK-Schätzung ein.

Zwischen den Folgeprojekten wird in diesem LZK-Modell für die Kosten des projektfreien baulichen Unterhalts weiter die jährliche Steigerung um 10% angenommen.



Abb. 5.3 Erhaltungprojekt Nationalstrasse: Ausgaben für den kleinen baulichen Unterhalt; Einfluss der Folgeprojekte gemäss den Annahmen oben

In den Jahren der Folgeprojekte rechnet das Lebenszykluskostenmodell mit Kosten für den betrieblichen Unterhalt, wie wenn keine Erhaltungsprojekte stattfinden würden.

Tabelle I-11 im Anhang zeigt, wie sich die Betriebskostenkennzahlen (CHF pro Meter) unter dem Einfluss des zunehmenden Verkehrs aufgrund des «Abnutzungskostenzuschlags» entwickeln. Bei den Kosten des baulichen Unterhalts wird der Rücksetzeffekt von Anfangsinvestition und Folgeprojekten berücksichtigt.

In Tabelle I-12 werden der «Zugänglichkeitskostenzuschlag» eingerechnet, die Kosten auf die gesamte Abschnittslänge bezogen (zum Beispiel Winterdienst im ersten Betriebsjahr: Basiskosten von etwas über 37,36 Franken pro Meter gemäss Tabelle I-11, mal 20'100 m Abschnittslänge (vgl. Tabelle I-5), noch kein Zugänglichkeitskostenzuschlag im ersten BetrJ = 750'989 Franken) und die SABA-Kosten (vgl. Tab. I-10) hinzugezählt. Insgesamt ergibt sich folgendes Bild:

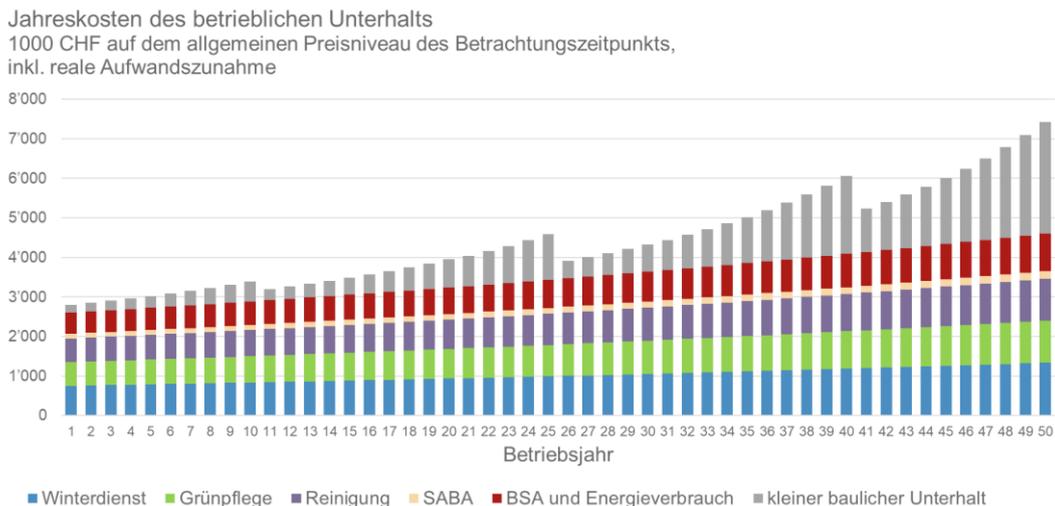


Abb. 5.4 Erhaltungprojekt Nationalstrasse: Ausgaben für betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt im Zeitablauf

5.2.6 Gesamtbild Lebenszykluskosten im Anwendungsbeispiel

Tabelle I-13 fasst die Ergebnisse der Kostenschätzung für Anfangsinvestition, betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt sowie für die Folgeprojekte zusammen. Insgesamt ergibt sich folgendes Bild der jährlichen Ausgaben im Betrachtungszeitraum:

Fallbeispiel Projektgenerierung: LZK Erhaltungsprojekt Autobahnabschnitt
Gesamtkosten Projekt und 50 Betriebsjahre,
MCHF zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts

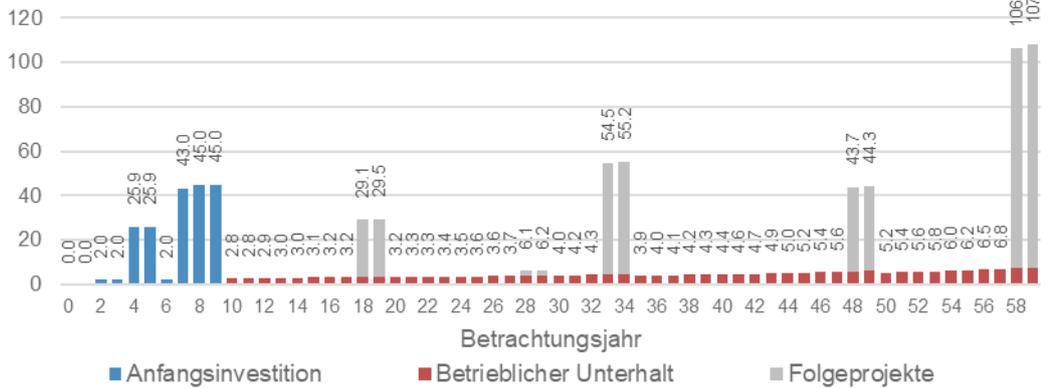


Abb. 5.5 Erhaltungsprojekt Nationalstrasse: Gesamtbild der langfristigen Kostenschätzung

Daraus lassen sich folgende Kennzahlen ableiten:

Tab. 5.8 Erhaltungsprojekt Nationalstrasse: Kostenkennzahlen

	Anfangs- investition	Kosten be- trieblicher Un- terhalt	Kosten Folge- projekte	Total
Gesamtkosten im Betrachtungszeitraum	191 MCHF	222 MCHF	433 MCHF	846 MCHF
durchschnittliche jährliche Kosten in der Betriebsphase:				
• insgesamt		4,4 MCHF	8,7 MCHF	
• pro Kilometer, gerundet		221'000 CHF	431'000 CHF	

Im gesamten Betrachtungszeitraum prägen die Folgeprojekte während der Betriebsphase die Lebenszykluskosten. Die Folgekosten sind mehr als doppelt so hoch wie die Anfangsinvestition. Die Kosten für den betrieblichen Unterhalt inkl. KBU liegen nach 50 Jahren in der gleichen Grössenordnung wie die Investitionskosten zu Anfang.

Die jährlichen Kosten des betrieblichen Unterhalts pro Kilometer werden leicht höher geschätzt als der derzeitige schweizerische Durchschnitt (vgl. Tabelle 3.2). Das ist zu einem grossen Teil auf die überdurchschnittliche und annahmegemäss zunehmende Verkehrsbelastung im betrachteten Strassenabschnitt zurückzuführen.

5.2.7 Sensitivitäten: Investitionen, Nutzungsdauern, Aufwandszunahme

Im Anwendungsbeispiel werden folgende Sensitivitäten einzeln betrachtet:

Tab. 5.9 *Erhaltungsprojekt Nationalstrasse, Sensitivitäten*

Sensitivität	Berechnung
<p>Höhe der Anfangsinvestition: Die Kostenschätzung der Anfangsinvestition bewegt sich im Unsicherheitsbereich von $\pm 30\%$. Wie sieht die Gesamtkostenschätzung aus, wenn die Kosten am oberen Ende der Bandbreite liegen?</p>	<p>Multiplikation der Anfangsinvestitionen mit dem Faktor 1,3. Dadurch steigen auch die daraus abgeleiteten Kosten der Folgeprojekte.</p>
<p>Nutzungsdauer Strassenbelag: Die Nutzungsdauer für den Belag SDA8-12 wird in der Basisrechnung mit 25 Jahren angenommen. Oft zeigt sich, dass der Deckbelag wenigstens auf dem rechten Fahrstreifen schon nach 10-15 Jahren ausgewechselt wird. Wie sieht die Gesamtkostenschätzung aus, wenn für die Nutzungsdauer von SDA8-12 wie für den Belag PA11 15 Jahre angenommen werden und der Deckbelagsersatz für beide Belagstypen gemeinsam stattfindet?</p>	<p>Ändern der Nutzungsdauer für Element 1.2.2 in Tabelle 5.5 von 25 auf 15 Jahre. Dadurch erscheint der Belagsersatz SDA8-12 auch im ersten und vierten Folgeprojekt; er verschwindet aus dem fünften Folgeprojekt.</p>
<p>Aufwandszunahme bei eingeschränktem Strassenzugang (Zugänglichkeitseffekt): Wie ändert sich die Kostenschätzung, wenn der relative Aufwand für laufenden Unterhalt und Erhaltungsprojekte statt um 1% pro Jahr nur um 0,5% pro Jahr zunimmt?</p>	<p>Die Ausgaben für den betrieblichen und baulichen Unterhalt sowie für die Folgeprojekte werden mit einem Faktor von $1,005^{(t-10)}$ statt mit einem Faktor von $1,01^{(t-10)}$ hochgerechnet (t ist das Betrachtungsjahr nach dem Jahr 10, dem ersten Betriebsjahr nach vollständiger Umsetzung des vorgeschlagenen Projekts)</p>

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Den grössten Einfluss auf die langfristige Kostenschätzung haben die Annahmen an die Anfangsinvestition und an die Aufwandszunahme mit zunehmend schwierigerem Strassenzugang. Die Annahme einer kürzeren Nutzungsdauer für den Strassenbelag SDA8-12 hat nur einen kleinen Einfluss, weil die Ausgaben für diesen Belagsersatz gering sind und weil im Betrachtungszeitraum «netto» nur eine solche Ersatzmassnahme hinzukommt. Durch den früheren Belagsersatz werden diese Ausgaben auch nicht so stark hochgerechnet wie bei späteren Massnahmen.

Tab. 5.10 Erhaltungsprojekt Nationalstrasse: Ergebnisse der Sensitivitätsrechnungen

Kostenart	Einheit	Basisrechnung	Sensitivitätsrechnung	Sensitivität / Basisrechnung, %
Sensitivität: Anfangsinvestition +30%				
Anfangsinvestitionen	MCHF	191	248	30%
Betriebskosten	MCHF	222	222	0%
Folgeprojekte	MCHF	433	562	30%
Insgesamt	MCHF	846	1'032	22%
Betriebskosten				
- pro Jahr der Betriebsphase	MCHF	4.4	4.4	0%
- pro km und Jahr	CHF	221'000	221'000	0%
Kosten der Folgeprojekte				
- pro Jahr der Betriebsphase	MCHF	8.7	11.2	30%
- pro km und Jahr	CHF	431'000	559'000	30%
Sensitivität: Nutzungsdauer Deckbelag SDA8-12 15 statt 25 Jahre, Ersatz gemeinsam mit Belag PA11				
Anfangsinvestitionen	MCHF	191	191	0%
Betriebskosten	MCHF	222	222	0%
Folgeprojekte	MCHF	433	449	4%
Insgesamt	MCHF	846	861	2%
Betriebskosten				
- pro Jahr der Betriebsphase	MCHF	4.4	4.5	0%
- pro km und Jahr	CHF	221'000	221'000	0%
Kosten der Folgeprojekte				
- pro Jahr der Betriebsphase	MCHF	8.7	9.0	4%
- pro km und Jahr	CHF	431'000	446'000	4%
Sensitivität: Aufwand für Erhaltungsmassnahmen steigt weniger stark (0,5% statt 1% pro Jahr)				
Anfangsinvestitionen	MCHF	191	191	0%
Betriebskosten	MCHF	222	193	-13%
Folgeprojekte	MCHF	433	364	-16%
Insgesamt	MCHF	846	748	-12%
Betriebskosten				
- pro Jahr der Betriebsphase	MCHF	4.4	3.9	-13%
- pro km und Jahr	CHF	221'000	192'000	-13%
Kosten der Folgeprojekte				
- pro Jahr der Betriebsphase	MCHF	8.7	7.3	-16%
- pro km und Jahr	CHF	431'000	362'000	-16%

5.3 Massnahmenkonzept: Erhaltungsprojekt Tunnel

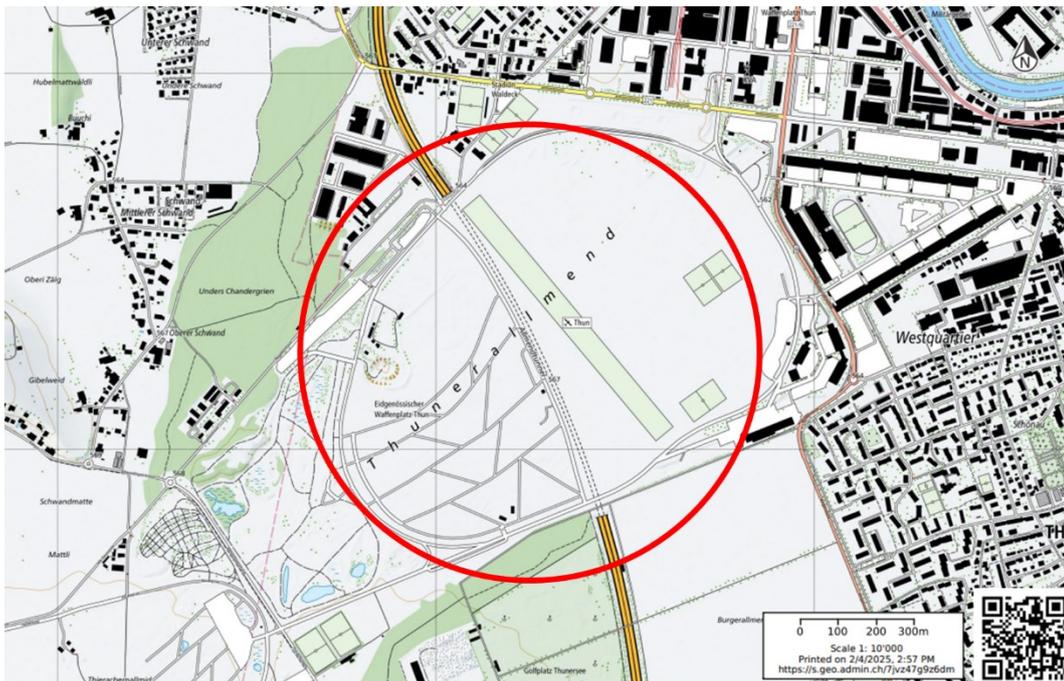


Abb. 5.6 N6 Allmendtunnel – Vorlage für das Anwendungsbeispiel

5.3.1 Ausgangslage und Problemstellung

Im Folgenden die Annahmen an die Ausgangslage im Anwendungsbeispiel. Diese können vom tatsächlichen Projekt abweichen.

Tab. 5.11 Erhaltungsprojekt Tunnel: Ausgangslage und Problemstellung

Situation	Erhaltungsprojekt für einen 950 m langen zweiröhrigen Tagbautunnel
planerische Ausgangslage	<p>Massnahmenkonzept für ein umfassendes Erhaltungsprojekt. Für die BSA liegt ein Massnahmenprojekt vor.</p> <p>Erste Investitionen im Jahr «Null» (→ Betrachtungszeitpunkt BZP). Umfassende Sanierungsarbeiten in den Jahren 0 bis 3 (Hauptarbeiten in den Jahren 1 und 2). Die Betriebsphase beginnt im Jahr 4</p> <p>Das Projekt umfasst:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fahrbahnabsenkung und Gewölbeverstärkung - Ersatz der Betonfahrbahn - Erhöhung Quergefälle, Trennung Entwässerungssystem - Ersatz/Erweiterung Kabelrohranlage - Ersatz Fluchttüren, Schliessung von Querungen - Ersatz SOS-Nischen - Ersatz Hydrantenleitung - Ersatz Tunnelbelüftung, Tunnelbeleuchtung, Antirezirkulationswand - Ersatz/Sicherung Stützmauern - Neubau einer Zentrale, Erweiterung der vorhandenen Zentrale <p>Für das Erhaltungsprojekt liegen Kostenschätzungen von 84 Millionen Franken vor (±15%, Preisniveau des Betrachtungszeitpunkts)</p>
Zweck der langfristigen Kostenschätzung	Abschätzen des Betriebs- und Erhaltungsaufwands nach Abschluss des initialen Erhaltungsprojekts.
Zustand des Strassenabschnittes nach dem Initialprojekt	Das initiale Erhaltungsprojekt kommt einer umfassenden Sanierung des Strassenabschnittes und seiner Objekte gleich. Nach dem initialen Erhaltungsprojekt kann der Strassenabschnitt als weitgehend neuwertig bezeichnet werden. In absehbarer Zeit werden keine Aus- oder Umbauten erwartet.
Betriebsaufwand während des Initialprojekts	Der Aufwand für den betrieblichen Unterhalt des Strassenabschnitts während der Ausführung des Initialprojekts ist hier nicht relevant und wird deshalb nicht speziell betrachtet.

5.3.2 Anforderungen und Rahmenbedingungen

Im Folgenden die Annahmen an die Anforderungen und Rahmenbedingungen im Anwendungsbeispiel.

Tab. 5.12 Erhaltungsprojekt Tunnel: Anforderungen und Rahmenbedingungen

Verkehr	DTV = 44'000 Fahrzeuge im ersten Betriebsjahr nach vollständiger Umsetzung des betrachteten Projekts. Annahme: jährliche Zunahme um 1%, keine Ausbauten anderer Strassen oder konkurrierender Verkehrsträger mit massgeblichem Einfluss auf den DTV im betrachteten Abschnitt; Schwerverkehrsanteil 3%, bleibt im Betrachtungszeitraum gleich
Infrastrukturdichte	Strassenabschnitt liegt unter Tag, normale Infrastrukturdichte
BSA	Ausrüstungsgrad normal, wie in gleichartigen Tunnel
Tunnel	zweiröhriger Tunnel, 950m lang
Winterdienst	nicht relevant
Grünpflege	nicht relevant
Reinigung	normale Anforderungen wie in gleichartigen Tunnel
SABA	keine
kleiner baulicher UH	normale Anforderungen

5.3.3 Räumliche und funktionale Systemgrenzen

Die Betrachtung beschränkt sich auf den Tunnel. Nach Abschluss des initialen Erhaltungsprojekts werden keine Kosteneinflüsse auf benachbarte Strassenabschnitte und Objekte im Eigentum des ASTRA erwartet.

5.3.4 Betrachtungszeitraum

Ziel ist die Abschätzung des langfristigen Betriebs- und Erhaltungsaufwands auf dem betrachteten Strassenabschnitt. Die betrachtete Betriebsphase umfasst daher die Nutzungsdauer der langlebigsten Objekte (ausser Tunnelrohbau, Foundationen/Unterbau und langlebigen Kunstbauten). Insgesamt gilt:

Tab. 5.13 Erhaltungsprojekt Tunnel: Betrachtungszeitraum

Betrachtungszeitpunkt	Baubeginn, hier definiert als Jahr 0
IBN initiales EH-Projekt	Jahr 4 (5. Jahr nach Baubeginn)
Betriebsphase	Jahr 4 bis Jahr 53 = 50 Betriebsjahre

5.3.5 Erhaltungsplanung und Kostenmodell

Die langfristige Kostenschätzung ist als dynamische Rechnung mit jährlichen Ausgaben angelegt. Die Gesamtkosten ergeben sich als Summe der jährlichen Ausgaben; auf Diskontierung und Barwertbildung wird verzichtet.

Anfangsinvestition

Tab. 5.14 Erhaltungprojekt Tunnel: Anfangsinvestition zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts (Jahr 0), exkl. MWSt, Nutzungsdauern gemäss Tab. 3.8

NPK	Element	Kosten.	Erwartete Nutzungsdauer (Jahre)
121	Unterfangungen	4'800'000	>50
131	Betoninstandsetzung	2'200'000	>50
132	Bohren und Trennen von Beton und Mauerwerk	100'000	>50
151	Werkleitungen	2'200'000	>50
162	Baugrubenabschlüsse / Pfähle	100'000	>50
172	Abdichtungen	100'000	25
211	Baugruben	5'200'000	>50
223	Belagsarbeiten (Betonfahrbahn)	7'000'000	25
237	Entwässerung	2'700'000	25
241	Ortbetonbau	14'900'000	>50
281	Fahrzeugrückhaltesysteme und Geländer	200'000	25
286	Markierung	100'000	25
321	Montagebau in Stahl	1'600'000	>50
574	Beleuchtung	1'400'000	20
940	Lüftung	1'300'000	20
div	Zentralen	1'500'000	50
direkte Kosten 1		45'400'000	
	Provisorium	18'500'000	
	Landerwerb	200'000	
direkte Kosten 2		64'100'000	
Gemeinkosten:			
113-117	Bauvorbereitung	8'000'000	
	bauzeitliche Verkehrsführung	300'000	
	Regie, Prüfungen, Honorare	8'300'000	
	ASTRA-Eigenleistung (~4%)	3'300'000	
	= <i>Gemeinkostenzuschlag auf direkte Kosten 1</i>	44%	
Projektkosten		84'000'000	

Für das Bauprogramm und die Kostenverteilung wird angenommen:

- Jahr 0: Landerwerb und Bauvorbereitung
- Jahr 0-1: Provisorium je zur Hälfte
- Jahr 1-3: Direkte Kosten im Verhältnis 35:45:20
- Jahr 0-3: Regie, Prüfungen, Honorare und Eigenleistung zu gleichen Teilen

Folgeprojekte

Alle Objekte, bei denen in der Betriebsphase das Ende ihrer Nutzungsdauer erwartet wird, werden ersetzt.

Die Kosten der Folgeprojekte werden aus den Anfangsinvestitionen abgeleitet. Dabei gelten folgende **Annahmen**:

- Grundsätzlich gelten die Preise des Betrachtungszeitpunkts («Jahr 0»). Aufgrund der zunehmend schwierigen Bauausführung unter zunehmendem Verkehr wird eine reale Aufwandszunahme um 1% pro Betriebsjahr angenommen.
- Für die Folgeprojekte wird ein tieferer Gemeinkostenzuschlag angenommen als für das Initialprojekt (35% statt 44%: geringerer Projektierungsaufwand bei 1:1-Ersatz).

Damit ergeben sich folgende Massnahmenpakete und Kosten:

Tab. 5.15 Erhaltungsprojekt Tunnel: Folgeprojekte zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts, inkl. relativer Aufwandsveränderung, Jahresangabe ausgehend vom Betrachtungszeitpunkt «Jahr 0»

Jahr	Projekt	Massnahmen	Fertigstellung	Kosten, MCHF
23	Erstes Folgeprojekt	• Ersatz BSA	• 20 Jahre nach IBN	4,4
28	Zweites Folgeprojekt	• Umfassende Instandstellung Betonbelag Fahrbahn, Entwässerung, Abdichtungen; Ersatz Fahrzeugrückhaltesysteme und Markierung	• 25 Jahre nach IBN	17,3
43	Drittes Folgeprojekt	• Ersatz BSA	• 20 Jahre nach 1. Folgeprojekt	5,4
53	Viertes Folgeprojekt	• Umfassende Instandstellung Betonbelag Fahrbahn, Entwässerung, Abdichtungen; Ersatz Fahrzeugrückhaltesysteme und Markierung • Instandstellung/Ersatz Zentralen	• 25 Jahre nach 2. Folgeprojekt • 50 Jahre nach IBN	25,5

Am Ende des Betrachtungszeitraums steht also wieder ein umfassendes Erhaltungsprojekt, das den Strassenabschnitt/Tunnel fast wieder in den Anfangszustand zurücksetzt, so dass man in der Betrachtung der durchschnittlichen jährlichen Kosten von Lebenszykluskosten sprechen kann.

Kosten des betrieblichen Unterhalts

Die Kosten des betrieblichen Unterhalts werden für die Betriebsphase im Betrachtungszeitraum bestimmt (Betriebsjahre 1-50 = Betrachtungsjahre 4-53). Die Kostenschätzung gilt auf der Basis der Norm VSS 41 826 Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen [37].

Tab. 5.16 Erhaltungsprojekt Tunnel: Grundkosten für den betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt

Basiskosten pro Jahr für Tunnel	322,96	CHF pro Meter
Zuschlag für DTV 44'000 statt 40'000	10,53	CHF pro Meter
Abschlag für Schwerverkehrsanteil 3% statt 6%	-7,41	CHF pro Meter
Zuschlag für zwei Tunnelröhren statt einer	76,11	CHF pro Meter
Infrastrukturdichte, Tunnellänge sowie Anforderungen an Reinigung, kleinen baulichen Unterhalt und BSA sind normal, daher keine weiteren Zu- oder Abschläge		
= betrieblicher und kleiner baulicher Unterhalt effektiv	402,19	CHF pro Meter
Länge des Strassenabschnitts	950	Meter
Jahresgrundkosten für betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt auf dem betrachteten Strassenabschnitt zu Preisen des Basisjahrs	0,4	Millionen Franken
darin kleiner baulicher Unterhalt	0,02	Millionen Franken

Zu den Kosten des projektfreien baulichen Unterhalts werden die folgenden **Annahmen** getroffen:

- Abnutzung durch Verkehrsentwicklung: Aufgrund von Erfahrungswerten wird ein weiterhin steigendes Verkehrsaufkommen erwartet. Aufgrund von Erfahrungswerten wird für den Betrachtungszeitraum von einem jährlichen Wachstum von 1% ausgegangen. Die Verkehrsbelastung beeinflusst direkt die Kosten des betrieblichen Unterhalts.
- Zugänglichkeitseffekt: Entsprechend der Norm steigen die realen Kosten wegen zunehmend schwierigerer Bauausführung um 1% pro Jahr.
- Projektfreier baulicher Unterhalt: Im ersten Betriebsjahr nach Abschluss des Massnahmenprojekts wird der Wert auf 25% des Normwertes gesetzt (alle Elemente sind noch neu), danach nehmen die Kosten um 10% pro Jahr zu. Mit Abschluss eines Folgeprojektes werden diese Kosten wieder zurückgesetzt:
 - nach BSA-Ersatz auf 75% des Vorjahreswertes,
 - nach dem zweiten, umfassenden Folgeprojekt auf 25% des Vorjahreswertes.
 Zwischen den Folgeprojekten gilt für die Kosten des projektfreien baulichen Unterhalts weiter die jährliche Steigerung um 10%.

Auch in den Jahren, in denen die Folgeprojekte durchgeführt werden, werden die Kosten des betrieblichen Unterhalts im Lebenszykluskostenmodell weiterberechnet.

Damit ergibt sich für den betrieblichen Unterhalt während des 50jährigen Betrachtungshorizontes folgendes Bild:

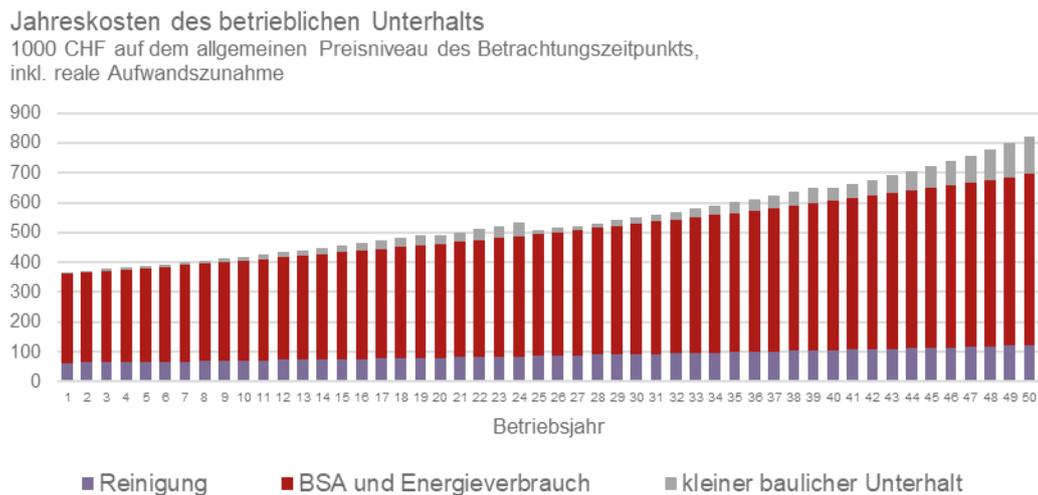


Abb. 5.7 Erhaltungsprojekt Tunnel: Ausgaben für betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt im Zeitablauf

5.3.6 Gesamtbild Lebenszykluskosten im Anwendungsbeispiel

Insgesamt ergibt sich für den Betrachtungszeitraum folgendes Bild der gesamten jährlichen Ausgaben:

Fallbeispiel Erhaltungsprojekt Autobahntunnel

Gesamtkosten Projekt und 50 Betriebsjahre, 1000 CHF zu Preisen des Basisjahres

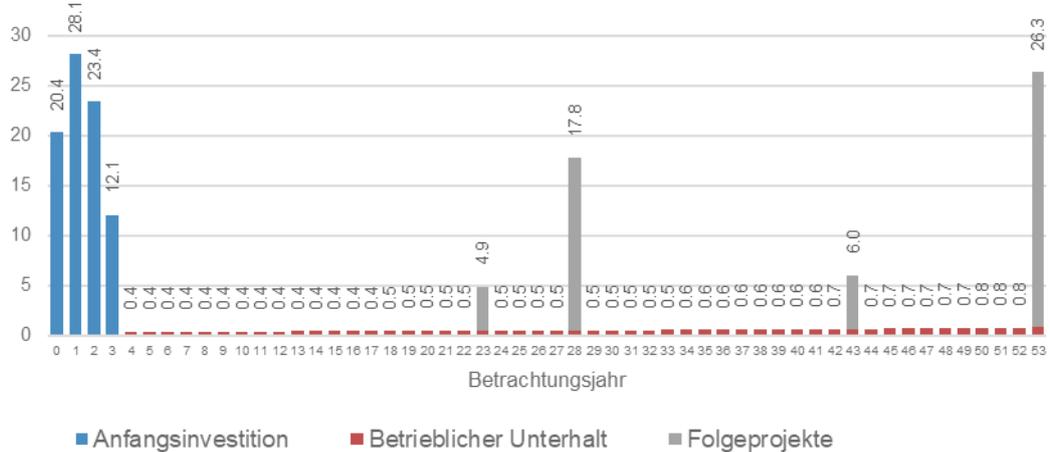


Abb. 5.8 Erhaltungsprojekt Tunnel: Gesamtbild der langfristigen Kostenschätzung

Daraus lassen sich folgende Kennzahlen ableiten:

Tab. 5.17 Erhaltungsprojekt Tunnel: Kostenkennzahlen

	Anfangsinvestition	Kosten betrieblicher Unterhalt	Kosten Folgeprojekte	Total
Gesamtkosten im Betrachtungszeitraum	84 MCHF	27 MCHF	53 MCHF	164 MCHF
durchschnittliche jährliche Kosten in der Betriebsphase:				
• insgesamt		0,5 MCHF	1,1 MCHF	
• pro Kilometer		572'000 CHF	1'107'000 CHF	

Im gesamten Betrachtungszeitraum prägen die Anfangsinvestitionen und die Folgeprojekte während der Betriebsphase die Lebenszykluskosten.

5.3.7 Sensitivität: Asphaltfahrbahn statt Betonfahrbahn

Im Anwendungsbeispiel können dieselben Sensitivitäten wie im vorhergehenden Fallbeispiel auf die gleiche Weise untersucht werden. Um die Anwendungsmöglichkeiten der LZK-Analyse weiter zu illustrieren, wird im Folgenden eine spezielle Sensitivität betrachtet.

Im Massnahmenkonzept hatte man für den Tunnel eine Asphaltfahrbahn favorisiert. Im Massnahmenprojekt hat man sich schliesslich für eine Betonfahrbahn entschieden. Die Betonfahrbahn ist zwar deutlich teurer in der Anfangsinvestition, hat aber eine längere Nutzungsdauer und ist heller, so dass man eventuell bei der Tunnelbeleuchtung sparen kann. Die oben dargestellte Basisrechnung gilt für die Ausführung mit Betonfahrbahn.

Bei einer Kostenrechnung mit Asphaltfahrbahn sind folgende Änderungen zu erwarten:

Tab. 5.18: Erhaltungsprojekt Tunnel: Parameteränderungen mit Asphaltfahrbahn

	Betonfahrbahn	Asphaltfahrbahn	Bemerkungen
Anfangsinvestition Belagsarbeiten	7,0 MCHF	1,7 MCHF	vorliegende Kostenschätzungen [48], [49]
Anfangsinvestition Beleuchtung	1,4 MCHF	2,2 MCHF	Annahme: doppelt so hohe Investitionen in Durchfahrts- und Adaptionbeleuchtung bei Asphaltfahrbahn
Gemeinkosten	19,9 MCHF	18,8 MCHF	Tiefere Kosten für Honorare und Eigenleistung, entsprechend den insgesamt tieferen direkten Kosten
Nutzungsdauer Belag	25 Jahre	15 Jahre	
BSA-Betrieb und Energieverbrauch		15% höhere Kosten	eigene Annahme

Mit den Annahmen an die Parameteränderungen ergibt die langfristige Rechnung für die Asphaltfahrbahn tiefere Kosten als für die Betonfahrbahn, trotz der höheren Betriebskosten und des häufigeren Belagsersatzes. Der Grund liegt darin, dass die Investitionen in eine Betonfahrbahn – und damit auch die Kosten der (selteneren) Instandstellung – so viel teurer sind. Der häufigere, aber relativ billige Asphaltbelagsersatz gleicht in diesem fiktiven Rechenbeispiel die insgesamt hohen Kosten der Variante mit Betonfahrbahn nicht aus. Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis der Sensitivitätsrechnung.

Tab. 5.19 Erhaltungsprojekt Tunnel: Ergebnisse der Sensitivitätsrechnung

Kostenart	Einheit	Basisrechnung	Sensitivitätsrechnung	Sensitivität / Basisrechnung, %
Sensitivität: Asphaltfahrbahn statt Betonfahrbahn				
Anfangsinvestitionen	MCHF	84	78	-7%
Betriebskosten	MCHF	27	29	9%
Folgeprojekte	MCHF	53	37	-29%
Insgesamt	MCHF	164	145	-11%
Betriebskosten				
- pro Jahr der Betriebsphase	MCHF	0.5	0.6	9%
- pro km und Jahr	CHF	572'000	621'000	9%
Kosten der Folgeprojekte				
- pro Jahr der Betriebsphase	MCHF	1.1	0.7	-29%
- pro km und Jahr	CHF	1'107'000	786'000	-29%

5.4 Massnahmenprojekt: Erhaltungsmassnahmen Strassenbrücke

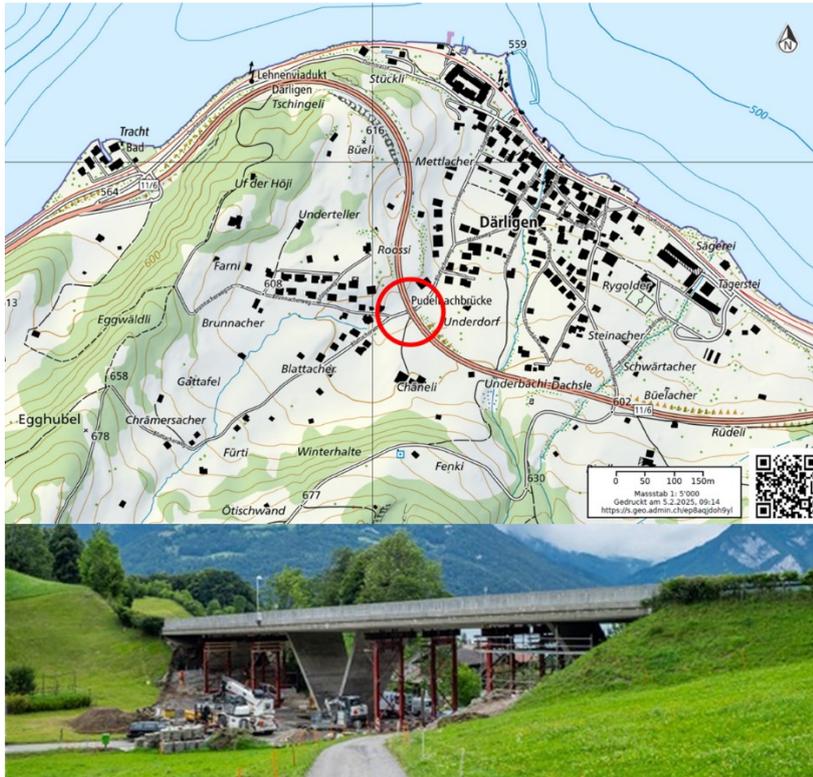


Abb. 5.9 N8 Budelbachbrücke – Vorlage für das Anwendungsbeispiel [53]

5.4.1 Ausgangslage und Problemstellung

Im Folgenden die Annahmen an die Ausgangslage im Anwendungsbeispiel. Diese können vom tatsächlichen Projekt abweichen.

Tab. 5.20 Erhaltungsmassnahmen Strassenbrücke: Ausgangslage und Problemstellung

Situation	Vor mehr als 50 Jahren wurde eine Brücke in der Achse einer Nationalstrasse 2. Klasse erbaut. Die Brücke verfügt heute über zwei durch eine Mittelkonsole getrennte Fahrbahnen. Tragwerk, Fahrbahnplatte, Konsolköpfe und Fahrbahnübergänge sind schadhaft. Vorgezogene Massnahmen zur Verstärkung von Brückenplatte und Trägern sind kurzfristig nötig, um Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit wiederherzustellen. Eine umfassende Instandsetzung der übrigen Bauteile ist in Abstimmung mit UPlaNS-Arbeiten auf dem Nationalstrassenabschnitt 9 bis 14 Jahre später vorgesehen.
planerische Ausgangslage	<p>Projekt für vorgezogene Massnahmen (VoMa):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verstärkung der Brückenplatte (Unterbetonierung) - Seitliche Verbeiterung der Pfeiler - Lokale Betoninstandsetzung - Ersatz von Belag und Abdichtung im Bereich der Unterbetonierung - Projektkostenschätzung VoMa 2 MCHF zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts, $\pm 10\%$ <p>Konzept für die weiteren Erhaltungsmassnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lokale Betoninstandsetzung - Ersatz von Abdichtung, Belag und Fahrbahnübergängen - Ersatz der Konsolköpfe durch Leitmauern - Ergänzung einer Leitmauer - Ersatz Beschichtung Verfahren 1.3 (OS5) im Bereich der Konsolköpfe - Neue Entwässerung - Neue Werkleitungen, Kabelrohrblock - Kostenvoranschlag im Massnahmenkonzept 1,8 MCHF zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts, $\pm 15\%$

Tab. 5.20 Erhaltungsmassnahmen Strassenbrücke: Ausgangslage und Problemstellung

Zweck der langfristigen Kostenschätzung	Aufzeigen von gesamthaften Kostenunterschieden zwischen verschiedenen Ausführungsvarianten, bei denen alle Erhaltungsmassnahmen entweder gleichzeitig erfolgen oder VoMa sofort und die weiteren Erhaltungsmassnahmen später ausgeführt werden.
Zustand des Strassenabschnittes nach den Erhaltungsmassnahmen	Nach Abschluss aller Erhaltungsmassnahmen ist der Zustand des Strassenabschnitts in allen Varianten und damit die Kosten in der Folgezeit bei allen Ausführungsvarianten gleich.
Betriebsaufwand während des Initialprojekts	Der Aufwand für den betrieblichen Unterhalt des Strassenabschnitts während der Ausführung der Erhaltungsmassnahmen ist hier nicht relevant und wird deshalb nicht speziell betrachtet.

5.4.2 Anforderungen und Rahmenbedingungen

Im Folgenden die Annahmen an die Anforderungen und Rahmenbedingungen im Anwendungsbeispiel.

Tab. 5.21 Erhaltungsmassnahmen Strassenbrücke: Anforderungen und Rahmenbedingungen

Verkehr	DTV = 18'000 Fahrzeuge im ersten Betriebsjahr nach Umsetzung der vorgezogenen Massnahmen. Annahme: jährliche Zunahme um 1%, keine Ausbauten anderer Strassen oder konkurrierender Verkehrsträger mit massgeblichem Einfluss auf den DTV im betrachteten Abschnitt
Infrastrukturdichte	Voralpengebiet, Lage am Dorfrand
BSA	keine
Tunnel	kein Tunnel
Winterdienst	zwischen den Ausführungsvarianten gibt es keinen Unterschied im Aufwand
Grünpflege	nicht relevant
Reinigung	zwischen den Ausführungsvarianten gibt es keinen Unterschied im Aufwand
SABA	keine
kleiner baulicher UH	allenfalls Zusatzaufwand zwischen VoMa und den weiteren EHM

5.4.3 Räumliche und funktionale Systemgrenzen

Die Strassenbrücke liegt auf einem Nationalstrassenabschnitt, auf dem das Unterhaltskonzept Nationalstrasse (UPlaNS) angewandt wird.

Ansonsten werden keine Einflüsse auf benachbarte Strassenabschnitte und Objekte im Eigentum des ASTRA angenommen.

5.4.4 Betrachtungszeitraum

Die langfristige Analyse soll gesamthafte Kostenunterschiede zwischen verschiedenen Ausführungsvarianten aufzeigen, bei denen alle Erhaltungsmassnahmen entweder gleichzeitig erfolgen oder VoMa sofort und die weiteren Erhaltungsmassnahmen später ausgeführt werden. Für diese weiteren, umfassenden Instandsetzungsmassnahmen gemäss Massnahmenkonzept werden folgende Varianten untersucht:

- Basisvariante: Ausführung 9 Jahre nach den vorgezogenen Massnahmen (entsprechend MK, frühester Zeitpunkt)
- Variante Spät: Ausführung 14 Jahre nach den vorgezogenen Massnahmen (entsprechend MK, spätestester Zeitpunkt)
- Variante Sofort/Gemeinsam: Ausführung zusammen mit den vorgezogenen Massnahmen (entgegen dem MK)

Betrachtungszeitpunkt – Ausgangszeitpunkt der Kostenanalyse – ist das Datum des Massnahmenprojekts. Weil das Bauprogramm kurz ist, erfolgt die Analyse pro Monat. Der Betrachtungszeitraum erstreckt sich bis zum Abschluss der spätesten Ausführungsvariante.

Tab. 5.22 Erhaltungsmassnahmen Strassenbrücke: Betrachtungszeitraum

Betrachtungszeitpunkt	Datum des Massnahmenprojekts, hier definiert als November des Jahres 0
VoMa	Januar bis Oktober des Jahres 1 (Beginn Projektierung bis Fertigstellung)
weitere Massnahmen:	
• Basisvariante	Januar bis Oktober des Jahres 10
• Variante Spät	Januar bis Oktober des Jahres 15
• Variante Sofort/Gemeinsam	Januar Jahr 1 bis Februar Jahr 2 (4 Monate längere Bauzeit)
Ende des Betrachtungszeitraums	Oktober des Jahres 15

5.4.5 Erhaltungsplanung und Kostenmodell

Die langfristige Kostenschätzung ist als dynamische Rechnung mit monatlichen Ausgaben angelegt. Die monatliche Betrachtung ergibt sich wegen des kurzen Bauprogramms.

Die Gesamtkosten werden als Gegenwartswert zum Betrachtungszeitpunkt dargestellt. Gemäss [32] wird dafür ein Diskontsatz von 2% pro Jahr verwendet, entsprechend 0,167% pro Monat.

Investitionen

Kosten zu Preisen des Basisjahrs (nicht diskontiert), inkl. Unvorhergesehenes, exkl. MWSt.

Tab. 5.23 Erhaltungsmassnahmen Strassenbrücke: Investitionen gemäss Massnahmenprojekt VoMa

Konto	Kostenbezeichnung	CHF
3100	Projektierung und Bauleitung	267'000
	Eigenleistung ASTRA (~4% der Gesamtkosten)	78'000
5010	Vorbereitung, Rodung, Abbrüche	60'000
	Regiearbeiten	25'000
	Prüfungen	363'000
	Baustelleneinrichtung	50'000
	Gerüste	156'000
	Lehr-, Schutz- und Montagegerüste	999'000
	Gemeinkosten	999'000
5020	Baugruben und Erdbauarbeiten	21'000
5200	Bauarbeiten Kunstbauten	41'000
	Abbrüche und Demontagen	475'000
	Instandsetzung und Schutz von Betonbauten	33'000
	Bohren und Trennen von Beton und Mauerwerk	59'000
	Abdichtungen für Bauwerke	86'000
	Belagsarbeiten	282'000
	Ortbetonbau	4'000
5500	Leitungsarbeiten	4'000
	Bauarbeiten für Werkleitungen	1'001'000
	Direkte Kosten	1'001'000
	Gesamtkosten	2'000'000

Tab. 5.24 Erhaltungsmassnahmen Strassenbrücke: Investitionen gemäss Massnahmenkonzept für weitere Instandsetzungsmassnahmen

Konto	Kostenbezeichnung	CHF	
2000	Unterstützung und Beratung	41'000	
3000	Projektierung und Bauleitung	203'000	
	Eigenleistung ASTRA (~4%)	84'000	
5010	Vorbereitung, Rodung, Abbrüche	Regiearbeiten	38'000
		Baustelleneinrichtung	153'000
		Gerüste	94'000
		Abbrüche und Demontagen	137'000
Gemeinkosten		750'000	
5100	Bauarbeiten Trasse	Belagsarbeiten	98'000
		Markierung auf Verkehrsflächen	7'000
5200	Bauarbeiten Kunstbauten	Instandsetzung Betonbauten	58'000
		Abdichtung	280'000
		Beton-/Stahl-/Verbundbau	418'000
		Lager und Fahrbahnübergänge	84'000
5400	Fahrzeugrückhaltesysteme	Fahrzeugrückhaltesysteme und Geländer	57'000
5500	Leistungsarbeiten	Bauarbeiten für Werkleitungen	46'000
		Entwässerungen	2'000
Direkte Kosten		1'050'000	
Gesamtkosten		1'800'000	

Betrieblicher Unterhalt

Zwischen den Ausführungsvarianten gibt es allenfalls Unterschiede im betrieblichen Unterhalt. Solange die endgültige, umfassende Instandsetzung der Brücke nicht stattgefunden hat, braucht es allenfalls häufigere Inspektionen, zusätzlichen Reinigungsaufwand und dergleichen auf der Brücke. Um herauszufinden, inwieweit dieser zusätzliche Aufwand die Variantenwahl beeinflusst, werden drei Szenarien untersucht:

- Szenarium 1: Es gibt keinen zusätzlichen Aufwand.
- Szenarium 2: Der zusätzliche Aufwand beträgt 1'000 Franken pro Monat zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts.
- Szenarium 3: Der zusätzliche Aufwand beträgt 2'000 Franken pro Monat zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts.

Dabei gilt:

- Während der vorgezogenen und der endgültigen Instandsetzungsmassnahmen fällt dieser Aufwand nicht an.
- Nach Abschluss der endgültigen Instandsetzungsmassnahmen gibt es keine Kostenunterschiede in den Ausführungsvarianten mehr.

Reale Kostenentwicklung

Wie bei den anderen Fallbeispielen wird **angenommen**, dass die Ausführung von baulichen Massnahmen sowie der betriebliche Unterhalt wegen des zunehmenden Verkehrs über die Zeit hinweg schwieriger und über die allgemeine Preisentwicklung hinaus um 1% pro Jahr teurer wird.

Synergien der Variante Sofort/Gemeinsam

Wenn die Erhaltungsmassnahmen gemeinsam durchgeführt werden, reduzieren sich die Gemeinkosten um 25%.

5.4.6 Gesamtbild Lebenszykluskosten im Anwendungsbeispiel

Mit den Annahmen wie oben ergibt sich folgendes:

- Wegen der Synergien und der Annahme, dass bauliche Massnahmen schwieriger und teurer werden, je später sie stattfinden, hat die Variante «Sofort/Gemeinsam» die insgesamt niedrigsten Kosten, unabhängig davon, ob zwischen vorgezogenen und endgültigen Massnahmen noch besondere Unterhaltskosten anfallen.
- Bei vorgezogenen Arbeiten ist es aus Gegenwartssicht kostengünstiger, mit den endgültigen Massnahmen zu warten, solange nicht mit hohen Extrakosten für den Unterhalt zwischen den Massnahmen gerechnet werden muss.

Tab. 5.25 Erhaltungsmassnahmen Strassenbrücke: undiskontierte Ausgaben pro Jahr sowie Gegenwartswert im November des Jahres 0, 1000 CHF; Berücksichtigung einer realen Aufwandszunahme von 1% pro Jahr, vgl. 5.4.5)

Jahr	kein besonderer BUH zwischen VoMa und endgültigen EHM		BUH zwischen Massnahmen +1000 Fr/Mt		BUH zwischen Massnahmen +2000 Fr/Mt		Variante Sofort: Alle Erhaltungsmassnahmen gemeinsam
	VBasis: VoMa sofort, weitere Massnahmen 9 Jahre später	VSpät: VoMa sofort, weitere Massnahmen 14 Jahre später	VBasis: VoMa sofort, weitere Massnahmen 9 Jahre später	VSpät: VoMa sofort, weitere Massnahmen 14 Jahre später	VBasis: VoMa sofort, weitere Massnahmen 9 Jahre später	VSpät: VoMa sofort, weitere Massnahmen 14 Jahre später	
1	2'014	2'014	2'016	2'016	2'018	2'018	2'811
2	0	0	12	12	24	24	581
3	0	0	12	12	25	25	0
4	0	0	12	12	25	25	0
5	0	0	13	13	25	25	0
6	0	0	13	13	25	25	0
7	0	0	13	13	26	26	0
8	0	0	13	13	26	26	0
9	0	0	13	13	26	26	0
10	1'984	0	1'984	13	1'984	26	0
11	0	0	0	13	0	27	0
12	0	0	0	13	0	27	0
13	0	0	0	14	0	27	0
14	0	0	0	14	0	28	0
15	0	2'085	0	2'085	0	2'085	0
Summe der Ausgaben	3'998	4'100	4'101	4'270	4'204	4'440	3'393
Gegenwartswert im Nov. Jahr 0	3'619	3'540	3'713	3'687	3'806	3'833	3'333

5.4.7 Sensitivitäten: Synergien und Aufwandszunahme

In der Bilanz der Kostenvor- und -nachteile der Planungsvarianten spielen folgende Faktoren eine Rolle:

Tab. 5.26 Erhaltungsmassnahmen Strassenbrücke: Kostenvor- und -nachteile der Planungsvarianten

	Variante « Sofort/Gemeinsam »	gestaffelte Ausführung
Kosten für speziellen betrieblichen Unterhalt zwischen vorgezogenen und endgültigen Massnahmen	nein	ja, möglicherweise
Kostenanstieg über die Zeit wegen schwierigerer Ausführung unter zunehmendem Verkehr	unproblematisch	ja, möglicherweise
Synergien der Massnahmenausführung, tiefe Gemeinkosten	ja, möglich	nein
Etap pierung: tiefe Jahreskosten	nein, früh hoher jährlicher Finanzbedarf	ja

In Tabelle 5.25 wird der Gegenwartswert der Gesamtkosten von Planungsvarianten mit unterschiedlich gestaffelten Erhaltungsmassnahmen und unterschiedlichen Annahmen an den betrieblichen Unterhalt dargestellt. Die Variante, bei der alle Erhaltungsmassnahmen sofort bzw. unmittelbar nacheinander realisiert werden, hätte tiefere Kosten vor allem dann, wenn Synergievorteile erzielt werden können. Bei Variante «sofort/gemeinsam» muss zum Beispiel nur einmal eine Baustelle eingerichtet und abgebaut werden, während bei gestaffelter Ausführung eine erste Baustelleneinrichtung für die vorgezogenen Massnahmen nötig ist und eine zweite, Jahre später, für die endgültigen Massnahmen. Weitere Synergien sind bei der Projektierung oder wegen insgesamt kürzerer Bauzeit zu erwarten.

In der folgenden Abbildung werden die Gesamtkosten der Basisvariante mit gestaffelter Ausführung und speziellem Aufwand für den betrieblichen Unterhalt zwischen vorgezogenen und den endgültigen Massnahmen mit den Gesamtkosten der Variante «sofort/gemeinsam» verglichen (vgl. die blau umrandeten Spalten in Tabelle 5.25). Die Kosten von Variante «sofort/gemeinsam» sind tiefer als diejenigen der Variante mit gestaffelter Ausführung, weil zwischen den Massnahmen kein besonderer betrieblicher Unterhalt nötig ist. Dafür ist der Gegenwartswert der Kosten höher, weil bei Variante «sofort/gemeinsam» schon früh hohe Kosten anfallen, die nicht so stark diskontiert werden.

Den Ausschlag für die deutlich tieferen Kosten der Variante «sofort/gemeinsam» geben die angenommenen Synergievorteile. Wenn die Gemeinkosten der Variante «sofort/gemeinsam» um 25% tiefer sind als bei gestaffelter Ausführung, ergibt sich das in Tabelle 5.25 dargestellte Ergebnis, dass die Variante «sofort/gemeinsam» unter allen dort dargestellten Planungsvarianten die tiefsten Kosten aufweist.

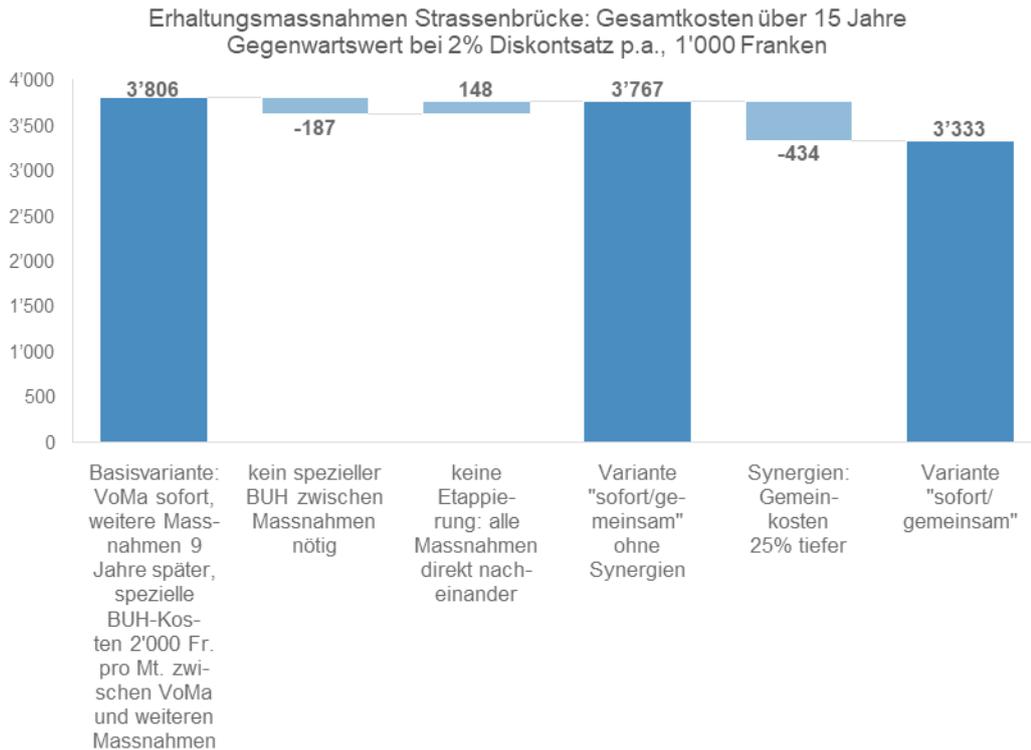


Abbildung 5.10 Erhaltungsmassnahmen Strassenbrücke: Kosteneffekte beim Übergang von gestaffelter Ausführung zu konzentrierter Ausführung

Die Annahme, dass die Kosten von betrieblichem Unterhalt und zukünftigen Erhaltungsmassnahmen steigen, weil die Ausführung bei zunehmendem Verkehr schwieriger wird, belastet die Planungsvarianten mit gestaffelter Ausführung zusätzlich. Je später die endgültigen Erhaltungsmassnahmen ausgeführt werden, desto teurer wären sie.

Wenn der Aufwand für betrieblichen Unterhalt und Erhaltungsmassnahmen statt um die angenommenen 1% pro Jahr überhaupt nicht zunimmt, wären die Gesamtkosten der gestaffelten Ausführung (Basisvariante wie in Abbildung 5.9) deutlich tiefer. Die Gesamtkosten der Variante «sofort/gemeinsam» wären dagegen nur wenig niedriger. Die gestaffelte Ausführung könnte aus Gegenwartssicht sogar kostengünstiger sein als die Variante «sofort/gemeinsam», selbst wenn man zusätzliche Kosten des betrieblichen Unterhalts zwischen den Massnahmen annimmt – nämlich dann, wenn die Synergievorteile der Variante «sofort/gemeinsam» nicht zu realisieren sind.

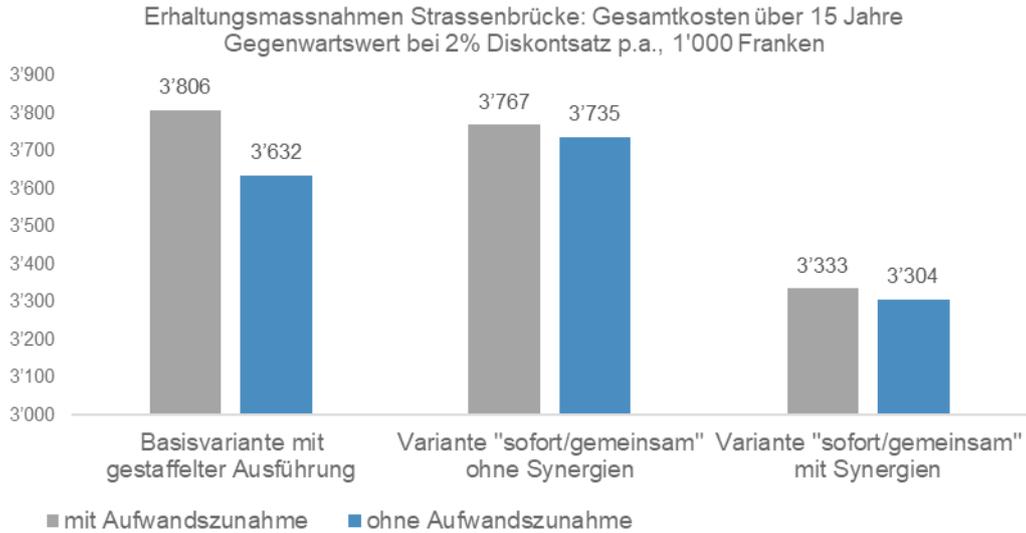


Abbildung 5.11 Erhaltungsmassnahmen Strassenbrücke: Kosteneffekt der Aufwandszunahme im Zeitablauf

5.5 Ausführungsprojekt: Neuer Autobahnanschluss und SABA



Abb. 5.12 N2 Anschluss Rothenburg – Vorlage für das Anwendungsbeispiel

5.5.1 Ausgangslage und Problemstellung

Im Folgenden die Annahmen an die Ausgangslage im Anwendungsbeispiel. Diese können vom tatsächlichen Projekt abweichen.

Tab. 5.27 Neuer Autobahnanschluss und SABA: Ausgangslage und Problemstellung

Situation	Neubau eines Autobahnanschlusses und einer SABA
planerische Ausgangslage	<p>Ausführungsprojekt</p> <p>Neubau von:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 4 Ein- und Ausfahrtsrampen zur/von der Nationalstrasse mit einer Länge von insgesamt 1'850 m - Leitschranken - Markierungen und Signalen - Entwässerungen - Lärmschutzwänden und Stützmauern - 2 neue Bachdurchlässen - einer neuen SABA - 2 Fussgängerbrücken <p>Erhaltungsmassnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erweiterung Unterführungen - Rampenanschlüsse - Bachumlegung im SABA-Bereich - Ersatz Wildschutzzaun <p>Betrachtungszeitpunkt («Jahr 0») ist das erste Jahr der Realisierung</p> <p>Für das Ausführungsprojekt liegt ein Kostenvoranschlag von 34 Millionen Franken vor ($\pm 10\%$, Preisniveau des Betrachtungszeitpunkts)</p>
Zweck der langfristigen Kostenschätzung	Abschätzen des Betriebs- und Erhaltungsaufwands für den neuen Autobahnanschluss.
Zustand des Strassenabschnittes nach dem Initialprojekt	Mit dem Neubau des Autobahnanschlusses werden verschiedene bestehende Objekte angepasst und sind danach in neuwertigem Zustand.
Betriebsaufwand während des Initialprojekts	Der Betriebsaufwand auf den Strassenabschnitten, die durch den Neubau tangiert werden, ist hier nicht relevant und wird nicht betrachtet.

5.5.2 Anforderungen und Rahmenbedingungen

Im Folgenden die Annahmen an die Anforderungen und Rahmenbedingungen im Anwendungsbeispiel.

Tab. 5.28 Neuer Autobahnanschluss und SABA: Anforderungen und Rahmenbedingungen

Verkehr	DTV = 7'800 Fahrzeuge auf den vier neuen Anschlussrampen im ersten Betriebsjahr nach vollständiger Umsetzung des Projekts (= 1'950 Fahrzeuge auf jeder Rampe). Annahme: jährliche Zunahme um 1%, Schwerverkehrsanteil 7% (bleibt gleich), keine Ausbauten anderer Strassen oder konkurrierender Verkehrsträger mit massgeblichem Einfluss auf den DTV im betrachteten Abschnitt
Infrastrukturdichte	Schweizerisches Mittelland im Agglomerationsbereich, hohe Infrastrukturdichte; Annahme: keine wesentlichen Änderungen der Raumnutzung im Betrachtungszeitraum
BSA	beschränkt sich auf die Beleuchtung an den Anschlüssen an die Kantonsstrasse → geringer Ausrüstungsgrad
Tunnel	kein Tunnel
Winterdienst	normale Anforderungen
Grünpflege	normale Anforderungen
Reinigung	normale Anforderungen
SABA	neue SABA der Leistungsklasse 2, zu entwässernde Gesamtfläche 5,9 ha
kleiner baulicher UH	hoher Kunstbautenanteil → hohe Anforderungen

5.5.3 Räumliche und funktionale Systemgrenzen

Die Analyse beschränkt sich auf den neuen Autobahnanschluss und die neue SABA. Nachgelagerte Projekte im Kantonsstrassennetz haben annahmegemäss keinen Einfluss auf die Kosten des betrachteten Abschnitts. Der neue Autobahnanschluss beeinflusst den Verkehr auf einem bestehenden benachbarten Anschluss, für den ein Rückbau erwogen wird. Dies wird hier nicht betrachtet.

5.5.4 Betrachtungszeitraum

Ziel ist die Abschätzung des langfristigen Betriebs- und Erhaltungsaufwands für den neuen Autobahnanschluss. Die betrachtete Betriebsphase umfasst daher die Nutzungsdauer der langlebigsten Objekte (ausser Foundationen/Unterbau und langlebigen Kunstbauten). Insgesamt gilt:

Tab. 5.29 Neuer Autobahnanschluss und SABA: Betrachtungszeitraum

Betrachtungszeitpunkt	Beginn der Realisierung, hier definiert als Jahr 0
IBN Autobahnanschluss	Jahr 3 (Realisierung neuer Autobahnanschluss Jahr 0 bis Jahr 2)
Bau und IBN SABA	Jahr 4 → fünf Jahre nach Beginn der Projektrealisierung
Betriebsphase	Jahr 3 bis Jahr 52 = 50 Betriebsjahre

5.5.5 Erhaltungsplanung und Kostenmodell

Die langfristige Kostenschätzung ist als dynamische Rechnung mit jährlichen Ausgaben angelegt. Die Gesamtkosten ergeben sich als Summe der jährlichen Ausgaben; auf Diskontierung und Barwertbildung wird verzichtet.

Anfangsinvestition

Tab. 5.30 Neuer Autobahnanschluss und SABA: Projektkosten zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts (Jahr 0), exkl. MWSt, Nutzungsdauern gemäss Tab. 3.8

Objektgruppe	Objekte, Elemente	Kosten	erwartete Nutzungsdauer (Jahre)
Trasse, Umwelt	Rodungs-, Kulturerd- und Felsarbeiten	5'340'000	>50
	Übergangs- und Foundationsschicht	2'770'000	>50
	Beläge: Tragschichten (obere und untere)	2'375'000	50
	Beläge: Deckschicht	2'375'000	15
	Wasserhaltung und Entwässerung	570'000	50
	Kabelschächte und -rohrblock	760'000	50
	Zäune und Leitsysteme	470'000	25
	Markierung und Signalisation	180'000	15
	Lärmschutzwände	2'370'000	50
	Bepflanzung	210'000	>50
	Grünpflege erste 5 Jahre	240'000	
	SABA	2'740'000	50
	SABA, Anteil Installationen, EMSR	300'000	15
Kunstbauten	Bachdurchlässe	790'000	>50
	Stützmauern	1'800'000	>50
	Anpassungen kleine Kunstbauten	670'000	>50
BSA	Beleuchtung Kreisverkehre	160'000	20
Direkte Kosten 1		24'120'000	
	Landerwerb und Landumlegungen	2'090'000	
Direkte Kosten 2		26'210'000	
Gemeinkosten	Baustelleneinrichtung, Nebenarbeiten, Altlasten, Gewässerschutz, Ersatzmassnahmen	1'470'000	
	Honorare und Eigenleistung	6'460'000	
	<i>Gemeinkostenzuschlag auf dir. Kosten 1</i>	33%	
Projektkosten		34'140'000	

Folgeprojekte

Projektmässige Erhaltungsmassnahmen (Folgeprojekte) werden für alle Objekte angenommen, die im Betrachtungszeitraum das Ende ihrer Nutzungsdauer erreichen.

Es wird angenommen, dass Folgeprojekte im Jahr des Ablaufs der Nutzungsdauer durchgeführt werden.

Die Kosten der Folgeprojekte werden aus den Anfangsinvestitionen abgeleitet. Dabei gelten folgende **Annahmen**:

- Grundsätzlich gelten die Preise des Betrachtungszeitpunkts («Jahr 0»). Aufgrund der zunehmend schwierigen Bauausführung unter zunehmendem Verkehr wird eine reale Aufwandszunahme um 1% pro Betriebsjahr angenommen.
- Für die Folgeprojekte wird ein tieferer Gemeinkostenzuschlag angenommen als für das Initialprojekt (25% statt 33%: geringerer Projektierungsaufwand bei 1:1-Ersatz).

Damit ergeben sich folgende Massnahmenpakete und Kosten:

Tab. 5.31 Neuer Autobahnanschluss und SABA: Folgeprojekte zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts, inkl. relativer Aufwandsveränderung, Jahresangabe ausgehend vom Betrachtungszeitpunkt «Jahr 0»

Jahr	Projekt	Massnahmen	Fertigstellung	Kosten, MCHF
17	Erstes Folgeprojekt	• Belagsersatz (Deckschicht) inkl. Markierung und Signalisation	• 15 Jahre nach IBN	3,7
19	Zweites Folgeprojekt	• SABA Ersatz EMSR	• 15 Jahre nach IBN SABA	0,4
22	Drittes Folgeprojekt	• Ersatz Beleuchtung Kreisverkehre	• 20 Jahre nach IBN	0,2
27	Viertes Folgeprojekt	• Ersatz Zäune und Leitsysteme	• 25 Jahre nach IBN	0,7
32	Fünftes Folgeprojekt	• Belagsersatz (Deckschicht) inkl. Markierung und Signalisation	• 15 Jahre nach 1. Folgeprojekt	4,3
34	Sechstes Folgeprojekt	• SABA Ersatz EMSR	• 15 Jahre nach 2. Folgeprojekt	0,5
42	Siebtentes Folgeprojekt	• Ersatz Beleuchtung Kreisverkehre	• 20 Jahre nach 3. Folgeprojekt	0,3
47	Achstes Folgeprojekt	• Belagsersatz (Deckschicht) inkl. Markierung und Signalisation	• 15 Jahre nach 5. Folgeprojekt	5,0
49	Neuntes Folgeprojekt	• SABA Ersatz EMSR	• 15 Jahre nach 6. Folgeprojekt	0,6
52	Zehntes Folgeprojekt	• Belagsersatz (Trag- und Deckschicht) inkl. Markierung und Signalisation • Ersatz Zäune und Leitsysteme • Instandstellung Wasserhaltung und Entwässerung, Kabelschächte/-rohrblock, Lämrschutzwände	• 50 Jahre nach IBN	18,5

Betrieblicher und kleiner baulicher Unterhalt

Die Kosten des betrieblichen Unterhalts werden für die Betriebsphase im Betrachtungszeitraum bestimmt. Die Kostenschätzung gilt

- auf der Basis der Norm VSS 41 826 Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen [37] für Winterdienst, Grünpflege, Reinigung, Betriebs- und Sicherheitsausrüstung und Energieverbrauch sowie für projektfreien baulichen Unterhalt
- auf der Basis der ASTRA-Dokumentation 88002 Strassenabwasserbehandlungsverfahren [15] für Strassenabwasserbehandlungsanlagen

Tab. 5.32 Neuer Autobahnanschluss: Grundkosten für den betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt inkl. SABA, zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts

Basiskosten pro Jahr für Strassen ausserorts	24,34	CHF pro Meter
Zuschlag für DTV 1'950 statt 1'500	0,03	CHF pro Meter
Zuschlag für Anzahl schwerer Fahrzeuge 137 statt 100 pro Tag	1,69	CHF pro Meter
Zuschlag für hohe Infrastrukturdichte	27,47	CHF pro Meter
Zuschlag für hohe Anforderungen an den kleinen baulichen Unterhalt	0,64	CHF pro Meter
Abschlag für geringen Ausrüstungsgrad/Aufwand für BSA	-1,43	CHF pro Meter
Anforderungen an Winterdienst, Grünpflege und Reinigung sind normal, daher keine weiteren Zu- oder Abschläge		
= betrieblicher und kleiner baulicher Unterhalt effektiv	52,74	CHF pro Meter
Länge der Strassenabschnitte	1'850	Meter
Jahresgrundkosten für betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt auf dem betrachteten Strassenabschnitt zu Preisen des Basisjahrs	97'575	Franken
darin kleiner baulicher Unterhalt	10'772	Franken
jährliche Unterhaltskosten für die SABA der Leistungsklasse 2	2'695	CHF pro Hektar entwässerter Fläche
zu entwässernde Gesamtfläche	5,9	Hektar
Jahreskosten für den SABA-Unterhalt insgesamt, zu Preisen des Basisjahrs	15'901	Franken

Die Kosten für die Grünpflege in den ersten fünf Betriebsjahren sind in der Anfangsinvestition enthalten.

Da die SABA zwei Jahre nach der Strasseninfrastruktur erstellt wird, fallen Kosten für ihren betrieblichen Unterhalt erst im gesamthaft dritten Betriebsjahr an.

In den Jahren der Folgeprojekte rechnet das Lebenszykluskostenmodell mit Kosten für den betrieblichen Unterhalt, als wenn keine Erhaltungsprojekte stattfinden würden.

Für die Kostenentwicklung des betrieblichen Unterhalts im Betrachtungszeitraum gelten folgende Annahmen:

- Abnutzungseffekt: Entsprechend dem Algorithmus in VSS 41 826 nehmen die Kosten um rund 6 Rappen je 1000 zusätzlicher Fahrzeuge pro Tag zu (Preisniveau des Basisjahrs).
- Zugänglichkeitseffekt: Entsprechend der Norm steigt der Aufwand wegen zunehmend schwierigerer Bauausführung um 1% pro Jahr.
- Kleiner baulicher Unterhalt: Im ersten Betriebsjahr nach dem Initialprojekt liegen die Kosten annahmegemäss bei einem Viertel des Normwerts. Bis zum nächsten Erhaltungsprojekt steigen die Kosten des projektfreien baulichen Unterhalts um 10% pro Jahr. Mit den Belagsersatzprojekten im 15., 30. und 45. Betriebsjahr werden die Kosten des kleinen baulichen Unterhalts wieder auf ein Viertel des Vorjahreswerts zurückgesetzt.

Im gesamten Betrachtungszeitraum prägen die Investitionen in den Neubau (des Ausbauprojekts) und in die folgenden Erhaltungsprojekte die Lebenszykluskosten. Die Kosten für den betrieblichen und den kleinen baulichen Unterhalt erscheinen demgegenüber sehr gering.

5.5.7 Sensitivität: Kürzerer Betrachtungszeitraum

Eingangs wurden 50 Betriebsjahre gleichsam als Lebenszyklus eines Strassenabschnittes bezeichnet, weil in diesem Zeitraum alle ersetzbaren Objekte mindestens einmal ersetzt werden, auch wenn der Strassenabschnitt ansonsten nicht verändert wird. Man könnte auch einen wesentlich kürzeren Zeitraum betrachten, wenn man annimmt, dass danach ein Um- oder Ausbauprojekt mit anderen Investitionen und Folgekosten stattfindet. Die Gesamtkostenschätzung bildet dann keine Lebenszykluskosten ab, sondern reflektiert nur den Finanzbedarf bis zum Um- oder Ausbau.

Verkürzt man den Betrachtungszeitraum im Anwendungsbeispiel auf 30 Betriebsjahre, ergibt sich folgendes Bild:

Fallbeispiel neuer Autobahnanschluss und SABA, Gesamtkosten Projekt und 30 Betriebsjahre, MCHF zu Preisen des Betrachtungszeitpunkts inkl. reale Zunahme

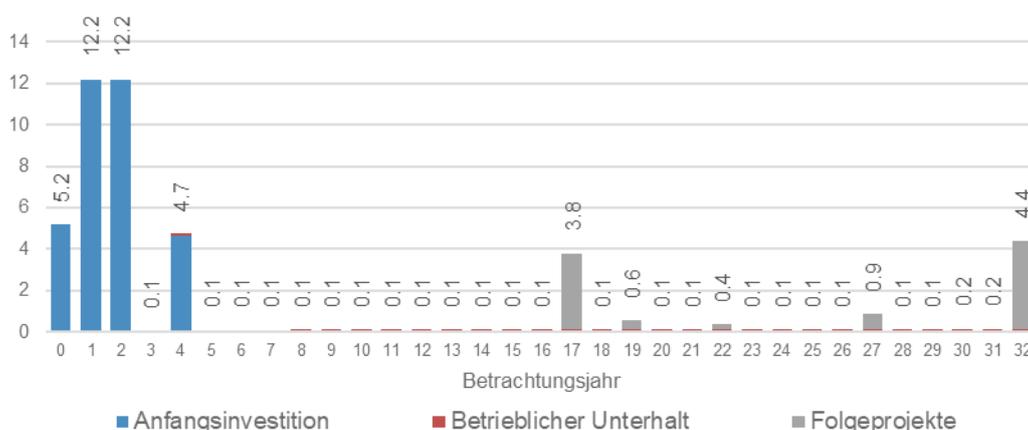


Abb. 5.15 Neuer Autobahnanschluss und SABA: Kostenschätzung über 30 Betriebsjahre

Die Kostenkennzahlen sehen dann so aus:

Tab. 5.34 Neuer Autobahnanschluss und SABA: Kostenkennzahlen über 30 Betriebsjahre

	Anfangsinvestition	Kosten betrieblicher Unterhalt	Kosten Folgeprojekte	Total
Gesamtkosten im Betrachtungszeitraum	34,1 MCHF	3,7 MCHF	9,4 MCHF	47,2 MCHF
durchschnittliche jährliche Kosten in der Betriebsphase:				
• insgesamt		125'000 CHF	312'000 CHF	
• pro Kilometer		68'000 CHF	169'000 CHF	

Der durchschnittliche jährliche Mittelbedarf für den betrieblichen Unterhalt und die Erhaltung verringert sich also von 827'000 Franken auf 437'000 Franken. Das ist überwiegend auf die entfallenden Erhaltungsprojekte zurückzuführen. Aber auch der Betriebsaufwand verringert sich, weil der Betrieb in den ersten Jahren mit einem geringeren Verkehrswachstum konfrontiert und der Aufwand entsprechend geringer ist.

5.6 Fazit aller Beispiele

Die Anwendungsbeispiele umfassen drei Folgekostenschätzungen für Investitionsprojekte sowie einen Kostenvergleich von alternativen Erhaltungsprogrammen.

Die Folgekostenschätzungen sind von den Erhaltungsprojekten geprägt, die im Betrachtungszeitraum auf die Anfangsinvestition folgen. Betrieblicher und kleiner baulicher Unterhalt haben wenig Gewicht. Das gilt auch für das Tunnelprojekt mit aufwändiger BSA. In den Folgekosten von Erhaltungs- oder Ausbauprojekten ganzer Strassenabschnitte dominieren nach wie vor die hohen Investitionen im klassischen Ingenieurbau.

Die Analyse der Erhaltungsplanung für die Strassenbrücke kommt zum Schluss, dass es für den Betreiber am kostengünstigsten wäre, die Brückensanierung aus einem Gesamtprojekt für die Instandsetzung eines längeren Strassenabschnitts herauszulösen und zusammen mit sonst nötigen vorgezogenen Massnahmen durchzuführen.

5.7 Vergleich mit ASTRA-Kennzahlen

Die ASTRA-Kennzahlen kann man mit den Modellwerten gemäss VSS 41 826 [32] für die Kosten des betrieblichen Unterhalts aus den Anwendungsbeispielen vergleichen:

Tab. 5.36 Kennzahlen für die Kosten des betrieblichen Unterhalts (ohne kleinen baulichen Unterhalt). Vgl. Tabelle 3.4.

	ASTRA offene Strecke	ASTRA Tunnel	Erhaltungs- projekt Nationalstrasse	Erhaltungs- projekt Tunnel	Neubau Auto- bahnanschluss
Bezugs- zeitraum	2022	2022		50 Betriebsjahre	
Preisbasis	2022	2022	2023	2023	2023
MCHF/a, Durchschnitt	170.9	75,0	3.5	0.5	0.14
Länge, km	1'933	322	20.1	0.95	1.85
jährl. Kosten pro km	88'400	232'900	174'000	535'000	73'000

Die anhand der Norm modellierten Kosten sind überwiegend höher als der derzeitige schweizerische Durchschnitt. Wenigstens teilweise ist das auf über die nächsten 50 Jahre zunehmende Verkehrsmengen auf den betrachteten Strassenabschnitten zurückzuführen.

Im Folgenden ein Vergleich der aktuellen ASTRA-Kostenkennzahlen mit den Werten gemäss Norm, gegliedert nach den Produkten des betrieblichen Unterhalts. Auch hier zeigen sich bei der Normanwendung höhere Werte. Nach Tab. 5.37 betragen die durchschnittlichen Kosten für den Betrieb (inkl. KBU) des ASTRAs rund 155'000 Fr., wohingegen nach Norm mit rund 175'000 Fr. pro Kilometer gerechnet wird. Gleichwohl haben die geschätzten Betriebskosten nur einen geringen Anteil an den Lebenszykluskosten.

Tab. 5.37 Kennzahlen für die jährlichen Kosten des betrieblichen Unterhalts nach Produkten, CHF pro Kilometer, inkl. Gemeinkostenanteil, Preisbasis 2022/23

	ASTRA alle Streckentypen	VSS 41 826		
		Tunnel	offene Strecken	gesamt
<i>Kilometer</i>	2'254,5	322,0	1'932.5	2'254,5
Winterdienst	25'279	0	34'534	29'601
Grünpflege	32'234	0	27'657	23'707
Reinigung	19'776	53'322	27'425	31'124
Kleiner baul. UH	32'158	17'452	35'966	33'322
BSA + Energie	45'415	252'185	24'614	57'117
gesamt ohne KBU	122'704	305'508	114'230	141'549
gesamt mit KBU	154'862	322'959	150'196	174'871

6 Empfehlungen

6.1 Anwendungsmöglichkeiten für LZK-Schätzungen

Lebenszykluskostenschätzungen können dazu dienen,

- Erhaltungsstrategien hinsichtlich ihrer Kosten zu vergleichen: Ist es langfristig kostengünstiger, in teure Bauwerke mit langer Nutzungsdauer zu investieren? Ist es kostengünstiger, schon heute Erhaltungsmassnahmen mit entsprechendem Finanzierungsbedarf durchzuführen, oder sollte man mit diesen Massnahmen warten, um zukünftig allenfalls Synergien mit anderen Massnahmen zu erzielen?
- Folgekosten von Investitionsentscheidungen abzuschätzen: Neu- und Ausbauprojekte führen zu höheren Betriebs- und Erhaltungsausgaben – wie hoch sind diese?
- den Mittelbedarf für den Strassenbetrieb und die Strassenerhaltung abzuschätzen: Mit welchen jährlichen Ausgaben für Betrieb und Erhaltung ist in Zukunft auf einem bestimmten Strassenabschnitt zu rechnen?
- Unternehmerangebote auf der Basis eines langfristigen Kostenmodells untereinander zu vergleichen: Wie sieht ein Benchmark für den Preis von Unternehmerangeboten aus, die neben Lieferung und Einbau von Systemen auch Support-, Service- oder Garantieleistungen in der Nutzungsphase umfassen?

Die vorliegende Dokumentation mit den Anwendungsbeispielen zur Folgekostenberechnung zeigen den Hintergrund und die Mechanik von LZK-Berechnungen differenziert und transparent. Die Dokumentation zeigt darüber hinaus, dass es je nach Zweck der LZK-Analyse verschiedene Möglichkeiten gibt, wie man sich den LZK nähern kann - siehe Kapitel 3, 4 und das Anwendungsbeispiel Budelbachbrücke.

6.2 Kosten- und Verkehrsentwicklung verfolgen

Die Beispielsrechnungen arbeiten mit der Annahme, dass die Kosten für Strassenunterhalt und Erhaltungsmassnahmen real um 1% pro Jahr zunehmen und dass der DTV auf den betrachteten Strassenabschnitten ebenfalls um 1% pro Jahr wächst.

Der vom Bundesamt für Statistik publizierte schweizerische Baupreisindex enthält seit Oktober 2020 besondere Indexwerte für Strassensanierungsmassnahmen. Bis Oktober 2024 wurden jährliche Preissteigerungen zwischen 1,1% und 8,6% verzeichnet. Im Mittel lag das jährliche Preiswachstum für Strassensanierungsmassnahmen bei 3,6%.

Die allgemeine Preisentwicklung in der Schweiz wird anhand des Landesindex der Konsumentenpreise bestimmt. Der schweizerische Landesindex der Konsumentenpreise ist zwischen Oktober 2020 und Oktober 2024 um 0,7% bis 2,9% pro Jahr gestiegen. Im Mittel lag das Wachstum der Konsumentenpreise bei 1,8% pro Jahr.

Die Kosten von Strassensanierungsmassnahmen sind von Oktober 2020 bis Oktober 2024 also um 1,8% schneller gestiegen als die allgemeine Preisentwicklung. Das ist sogar etwas mehr als die angenommenen 1% pro Jahr.

Die Verkehrsmenge auf Nationalstrassenabschnitten hat sich in den letzten Jahren unterschiedlich entwickelt. Es gibt Abschnitte, auf denen der DTV stark zugenommen hat – z.B. im grenznahen Raum –, aber auch Abschnitte, auf denen der DTV zurückgegangen ist, z.B. wegen des Trends zur Arbeit im Home Office nach den Corona-Lockdowns [42]. Im Einzelfall ist daher zu prüfen und zu begründen, mit welcher Verkehrsentwicklung gerechnet werden kann.

6.3 LZK-Schätzung als Ausgabenrechnung anlegen

In den meisten Anwendungsfällen ist es sinnvoll, die Lebenszykluskostenschätzung als dynamische Rechnung mit jährlichen, allenfalls monatlichen Ausgaben anzulegen. In der Ausgabenrechnung sind Annahmen an das Erhaltungsprogramm transparent, und die Ausgabenrechnung entspricht dem Vorgehen in der Kosten-Nutzen-Analyse. Steuern und Finanzierungskosten gehen nicht in die Lebenszykluskostenschätzung ein.

6.4 Anfangsinvestition sinnvoll strukturieren

Bei Folgekostenabschätzungen von Investitionen wäre es wünschenswert, wenn die Kostenschätzung der Anfangsinvestition nach Fachbereichen und Objekten strukturiert wäre, aus deren Nutzungsdauer sich Folgemassnahmen im Betrachtungszeitraum ableiten lassen. In frühen Projektphasen reicht eine Strukturierung nach Fachbereichen aus.

Kostenschätzung bzw. Kostenvoranschlag für ein Ausführungs- oder Massnahmenprojekt sind detaillierter differenziert. Für die Baukosten werden die Hauptkostenarten Projektierung, Bau und Landerwerb berücksichtigt. Für Bau- und Betriebskostenschätzungen ist der ASTRA-Kontenplan zu verwenden.

6.5 Möglichst nicht mit Restwerten rechnen

Nicht realisierbare Restwerte von Objekten, die am Ende des Betrachtungszeitraums noch nicht das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht haben, sollten nicht in die Rechnung eingehen. Wenn entsprechende Sonderabschreibungen interessieren, kann eine Kostenrechnung mit Abschreibungen anstelle von effektiven Ausgaben durchgeführt werden.

6.6 Diskontierung und Barwertbildung i.a. nicht nötig

Bei den Anwendungsbeispielen wurden Folgekostenabschätzungen von Investitionen sowie ein Kostenvergleich von Erhaltungsprogrammen dargestellt. Bei den Folgekostenabschätzungen sollte man auf eine Diskontierung und Barwertbildung verzichten, um reale Kennzahlen für den periodischen Mittelbedarf zu generieren. Im Kostenvergleich von Erhaltungsprogrammen ist die Diskontierung und Barwertbildung aus finanztechnischen Überlegungen sinnvoll. Der Diskontsatz sollte entsprechend der Norm VSS 41 821 [32] gewählt werden.

6.7 Betrachtungszeitraum sinnvoll festlegen

Als Näherungswert für den Lebenszyklus eines Strassenabschnitts hat sich ein Betriebszeitraum von 50 Jahren (auf Basis der Beispiele) herauskristallisiert, auch wenn dieser noch nicht explizit auf die Planung von Erhaltungsmaßnahmen angewandt wurde. Mit einem entsprechenden Betrachtungszeitraum erhält man einen konsistenten und vergleichbaren, wenngleich mit vielen Annahmen behafteten Kostenwert für eine unveränderte Strasse, auch wenn damit zu rechnen ist, dass veränderte Rahmenbedingungen schon viel früher zu Aus- oder Umbauten führen. Entsprechende Aus- oder Umbauprojekte haben dann ihrerseits Lebenszykluskosten, die mit der ursprünglichen Lebenszykluskostenschätzung vergleichbar sind. Aus Gründen der Vergleichbarkeit sollte die Lebenszykluskostenschätzung auf einer definierten Preisbasis erfolgen.

6.8 Einbezug von Benutzerkosten prüfen

Alternde Objekte bedingen mit der Zeit Einschränkungen in der Nutzbarkeit: Brücken können nicht mehr so stark belastet werden, Fahrstreifen werden reduziert, Geschwindigkeitsbeschränkungen werden eingeführt, der Ausfall von Lichtsignalanlagen führt zu Staus und Unfällen. Und wenn alternde Objekte erneuert oder ersetzt werden, schaffen Baustellen temporäre Engpässe und gehen ihrerseits mit tieferen Geschwindigkeitslimiten oder Umleitungen einher. Die Verkehrsteilnehmer sind langsamer unterwegs, müssen eher mit Verkehrsstaus und allenfalls mit einem höheren Unfallrisiko rechnen. Aus volkswirtschaftlicher

Sicht bedeuten längere Fahrzeiten und mehr Unfälle höhere Kosten, die grossenteils bei den Strassenbenutzern, aber auch bei der Allgemeinheit anfallen.

Im Interesse möglichst geringer Nutzungseinschränkungen (und im Sinne der UPlANS-Philosophie) wäre zu überlegen, inwiefern die Kosten der Strassennutzer miteinbezogen werden könnten. Gerade bei Kostenvergleichen wird über mögliche Einschränkungen der Nutzer nachgedacht, ohne diese jedoch bei den Kosten zu berücksichtigen. Die Kosten sind ein wichtiges Kriterium (unter anderen) bei der Entscheidungsfindung, wann wie welche Massnahmen umgesetzt werden. In der Erhaltungsplanung (nach [13]) wäre daher der Einbezug von Kosten für die während der Baumassnahmen erschwerte Benutzung der Strasse sinnvoll. Methodik und Wertgerüst können aus der Kosten-Nutzen-Analyse übernommen werden. Folgende Normen sind dabei relevant:

- VSS 41 822a Zeitkosten im Personenverkehr [33]
- VSS 41 823 Zeitkosten im Güterverkehr [34]
- VSS 41 824 Unfallraten und Unfallkostensätze [35]
- VSS 41 825 Bewertung der Zuverlässigkeit von Nationalstrassen [36]

6.9 Bezug zur Ökobilanz

Die Dokumentation Ökobilanz [14] zeigt, wie man die Umweltwirkung eines Bauvorhabens über die Lebensdauer des erstellten Objekts oder Strassenabschnitts abschätzen kann. Das Ergebnis wird in Mengenangaben – z.B. Tonnen CO₂-äquivalente Emissionen – oder in Umweltbelastungspunkten dargestellt.

Gleiche Phasen: Erstellung und Nutzung

Wie die Lebenszykluskosten-Methode folgt auch die Methodik der Ökobilanz dem Phasenmodell, mit einer Erstellungsphase (Anfangsinvestition) und einer Nutzungsphase mit Betrieb, Unterhalt und Erhaltungsmassnahmen. Wie bei der LZK-Methode ergibt sich die Häufigkeit von Erhaltungsmassnahmen aus der Nutzungsdauer von Objekten. Die Dokumentation der LZK-Methode ist mit den angenommenen Nutzungsdauern in der Dokumentation Ökobilanz konsistent.

Unterschiedlicher Betrachtungszeitraum

Die Dokumentation Ökobilanz geht grundsätzlich von einem längeren Betrachtungszeitraum aus als die hier dokumentierte LZK-Methode, und sie thematisiert den endgültigen Rückbau (vgl. Kap. 4.7.4). Für die langfristige Kostenschätzung werden die Unsicherheiten bei sehr langen Betrachtungszeiträumen zu gross. Sehr langfristige Kostenschätzungen – die Ökobilanz geht grundsätzlich von 100 Jahren aus – liefern keine tragfähigen Kennzahlen für technische oder politische Entscheide mehr; daher betrachten die im Kapitel 5 vorgeführten Beispielrechnungen maximal 50 Betriebsjahre und klammern den so gut wie nie beobachteten endgültigen Rückbau von Strassenabschnitten aus. Wenn Ökobilanz und Lebenszykluskosten vergleichbar sein sollten, muss der gleiche Betrachtungszeitraum verwendet werden.

6.10 Vorhandene Unsicherheiten

Unsicherheiten bestehen nach wie vor

- bezüglich des Einflusses des zunehmenden Verkehrs auf Nutzungsdauern und Erhaltungsbedarf von Objekten
- bezüglich des Einflusses des zunehmenden Verkehrs auf den Ausführungsaufwand von Unterhalt und Erhaltungsmassnahmen
- bezüglich des Einflusses von Erhaltungsmassnahmen auf den weiteren Erhaltungsbedarf, insbesondere auch der Zusammenhang zwischen KBU und Unterhalt
- bezüglich der Entwicklung der Nutzungsdauer von Objekten mit technischem und gesellschaftlichem Fortschritt

Anhang

I	LZK Erhaltungsprojekt Nationalstrasse: Berechnungsgrundlagen und Ergebnisse	71
---	--	-----------

I LZK Erhaltungsprojekt Nationalstrasse: Berechnungsgrundlagen und Ergebnisse

Die folgenden Tabellen dokumentieren die LZK-Berechnung für das Anwendungsbeispiel im Kapitel 5.2 im Detail. Es gelten die Darstellungen und Erklärungen in Kapitel 5.2.

Tab. I-1 Betrachtungszeitraum

Ereignis	Betrachtungsjahr (BJ)	Betriebsjahr (BtrJ)
Betrachtungszeitpunkt (BZP, 2023)	0	
	1	
Beginn Planung und Projektierung	2	
	3	
Realisierung Belag PA11 gem. PG	4	
	5	
	6	
Realisierung übrige Massnahmen gem. PG	7	
	8	
	9	
IBN, erstes Betriebsjahr	10	1
	11	2
	12	3
	13	4
	14	5
	15	6
	16	7
Erstes Folgeprojekt, siehe unten	17	8
	18	9
	19	10
	20	11
	21	12
	22	13
	23	14
Zweites Folgeprojekt, siehe unten	24	15
	25	16
	26	17
	27	18
	28	19
	29	20
	30	21
Drittes Folgeprojekt, siehe unten	31	22
	32	23
	33	24
	34	25
	35	26
	36	27
	37	28
	38	29
	39	30
	40	31
	41	32
	42	33
	43	34
	44	35
	45	36

Tab. I-1 Betrachtungszeitraum

Ereignis	Betrachtungsjahr (BJ)	Betriebsjahr (BtrJ)
	46	37
	47	38
	48	39
Viertes Folgeprojekt, siehe unten	49	40
	50	41
	51	42
	52	43
	53	44
	54	45
	55	46
	56	47
	57	48
Fünftes Folgeprojekt, siehe unten	58	49
	59	50

Tab. I-2 Relevante Teuerungsindizes (TI)

von ... auf	Baupreisindex Neubau Strasse (BFS)	Teuerungsindex Nationalstrassen, ASTRA-D-33B43401/1339 19.12.2023 [55]	
	2017 → 2023	2018 → 2023	2021 → 2023
Total	1.1596	1.1380	
Fahrbahn		1.1470	
Kunstabauten		1.1430	
Tunnelbau		1.1460	
Elektromechanik		1.0570	
Honorare		1.0600	
Sonstiges		1.1380	1.0998

Tab. I-3 Anfangsinvestition

Bereich	Massnahmen	Zuordnung	CHF 2018	Objekttyp	TI	CHF 2023 gerundet	Auführung im BJ
MK Trassee	TeSi UPlaNS	1.1 TeSi UPlaNS	400'000	Fahrbahn	1.147	460'000	4 und 5
	Belagsersatz PA11 durch 50mm PA11+10mm SAMI	1.2.1 Belag PA11 und SAMI	30'240'000	Fahrbahn	1.147	34'690'000	4 und 5
	Belagsersatz SMA11 durch 40mm SDA8-12 + 10mm SAMI	1.2.2 Belag SDA8-12 und SAMI	12'000'000	Fahrbahn	1.147	13'760'000	7 bis 9
	Ersatz FZRS (Aussenseiten und lokale Anpassungen)	1.3 Fahrzeugrückhaltesysteme	1'800'000	Fahrbahn	1.147	2'060'000	7 bis 9
	Ersatz Zäune	1.4 Zäune	4'000'000	Fahrbahn	1.147	4'590'000	7 bis 9
MK BSA	Erneuerung Markierung+Signalisation	1.5 Markierung und Signalisation	4'000'000	Fahrbahn	1.147	4'590'000	4 und 5
	Abschnitt gesamt (VK)	2.1 Energieversorgung	39'000	Elektromechanik	1.057	40'000	7 bis 9
	Abschnitt gesamt (ESP)	2.1 Energieversorgung	24'000	Elektromechanik	1.057	30'000	7 bis 9
	Projektierung und Nebenkosten	2.1 Energieversorgung	16'000	Elektromechanik	1.057	20'000	7 bis 9
	Ersatz LED-Leuchten alle Rastplätze	2.2 Beleuchtung	16'500	Elektromechanik	1.057	20'000	7 bis 9
	Rückbau und Entsorgung der Ausfahrtsbeleuchtung	2.2 Beleuchtung	14'000	Elektromechanik	1.057	10'000	7 bis 9
	Projektierung und Nebenkosten	2.2 Beleuchtung	6'000	Elektromechanik	1.057	10'000	7 bis 9
	Verkehrszählstelle CH335	2.3 Verkehrszählstelle	90'000	Elektromechanik	1.057	100'000	7 bis 9
	Projektierung und Nebenkosten	2.3 Verkehrszählstelle	24'000	Elektromechanik	1.057	30'000	7 bis 9
	Ersatz GFS-Messstelle	2.4 Überwachungsanlagen	360'000	Elektromechanik	1.057	380'000	7 bis 9
	Ersatz der Kameras	2.4 Überwachungsanlagen	60'000	Elektromechanik	1.057	60'000	7 bis 9
	Projektierung und Nebenkosten	2.4 Überwachungsanlagen	113'000	Elektromechanik	1.057	120'000	7 bis 9
	Anpassungen und Beschriftungen	2.5 Kommunikation und Leittechnik	20'000	Elektromechanik	1.057	20'000	7 bis 9
	Ersatz Netzwerkkomponenten	2.5 Kommunikation und Leittechnik	80'000	Elektromechanik	1.057	80'000	7 bis 9
	Projektierung und Nebenkosten	2.5 Kommunikation und Leittechnik	27'000	Elektromechanik	1.057	30'000	7 bis 9
	Überprüfen, Nachrüsten Erdung	2.6 Kabelanlagen	100'000	Elektromechanik	1.057	110'000	7 bis 9
	Aufnahme Rohrblock Transit	2.6 Kabelanlagen	40'000	Elektromechanik	1.057	40'000	7 bis 9
	Projektierung und Nebenkosten	2.6 Kabelanlagen	38'000	Elektromechanik	1.057	40'000	7 bis 9
	Rückbau Steckdosen und Steckdosenkabelanlage	2.6 Kabelanlagen	120'000	Elektromechanik	1.057	130'000	7 bis 9
Projektierung und Nebenkosten	2.6 Kabelanlagen	32'000	Elektromechanik	1.057	30'000	7 bis 9	
Weiteres	2.7 Weiteres	131'500	Elektromechanik	1.057	140'000	7 bis 9	

Tab. I-3 Anfangsinvestition

Bereich	Massnahmen	Zuordnung	CHF 2018	Objekttyp	TI	CHF 2023 gerundet	Aufführung im BJ
MK KUBA	Bauwerk N1-120	3.1 Bauwerk N1-120	4'000'000	Kunstbauten	1.143	4'570'000	7 bis 9
	Bachdurchlässe	3.2 Bachdurchlässe	23'000'000	Kunstbauten	1.143	26'290'000	7 bis 9
	div. Objekte	3.3 diverse Objekte	1'200'000	Kunstbauten	1.143	1'370'000	7 bis 9
AP SABA	SABA	4.1.1 SABA (Ingenieurbau)	16'200'000	Kunstbauten	1.143	18'520'000	7 bis 9
	SABA	4.1.2 SABA (EMSR)	1'800'000	Kunstbauten	1.143	2'060'000	7 bis 9
	Pumpwerke	4.2 Pumpwerke	2'400'000	Kunstbauten	1.143	2'740'000	7 bis 9
	Kanalneubau inkl. Fremdwasseruntersuchung	4.3 Kanalneubau	3'000'000	Kunstbauten	1.143	3'430'000	7 bis 9
	Druckleitung	4.4 Druckleitung	1'500'000	Kunstbauten	1.143	1'710'000	7 bis 9
	Brücke Oftringen (inkl. 300m Wildzaun)	5.1 Brücke und Zaun	14'000'000	Kunstbauten	1.143	16'000'000	7 bis 9
AP Lärm	Neubau/Erhöhung Lärmschutzwand	6.1 Neubau	5'000'000	Kunstbauten	1.143	5'720'000	7 bis 9
	Instandstellung Lärmschutzwand	6.2 Instandstellung	2'000'000	Kunstbauten	1.143	2'290'000	7 bis 9
Beitragsgesch.	Regenbecken Emil Frey	7.1 Regenbecken	480'000	Kunstbauten	1.143	550'000	7 bis 9
	3 Pumpwerke	7.2 Pumpwerke	300'000	Kunstbauten	1.143	340'000	7 bis 9
	Druckleitungen + BSA	7.3 Druckleitungen	200'000	Kunstbauten	1.143	230'000	7 bis 9
	Abwassergebühren	7.4 Abwassergebühren	3'000'000	Kunstbauten	1.143	3'430'000	7 bis 9
Total Erhaltung = direkte Kosten			131'871'000			150'840'000	
Gemeinkosten (Projektverfasser, Eigenleistung, Reserve, MWSt.)			48'129'000	Total	1.138	54'770'000	
Total gerundet, inkl. MWSt, ±30%			180'000'000			205'610'000	
Darin Mehrwertsteuer 7,7%			12'870'000			14'700'000	
Gemeinkosten (Projektverfasser, Eigenleistung, Reserve, ohne MWSt.)			35'259'000	8.1 PV, Eigenleistung, Reserve, exkl. MWSt.		40'070'000	2 bis 9
Zuschläge in % der direkten Kosten						27%	
Total vor MWSt			167'130'000			190'910'000	

Tab. I-4 Ausführungsprogramm Anfangsinvestition

Kosten	Ausgaben im Betrachtungsjahr								
	2	3	4	5	6	7	8	9	
Belagsersatz PA11	39'740'000		50.0%	50.0%					
übrige Massn.	111'100'000					33.3%	33.3%	33.3%	
Projektierung, Eigenleistung, Reserve	40'070'000	5.0%	5.0%	15.0%	15.0%	5.0%	15.0%	20.0%	20.0%
Gesamt	190'910'000	2'003'500	2'003'500	25'880'500	25'880'500	2'003'500	43'043'833	45'047'333	45'047'333

Tab I-5 Parameter Unterhalt/Erhaltung

Bereich	Tatbestand	Wert	Bemerkungen, Quelle
Dimensionen	Länge des Strassenabschnitts	20'100	m, entsprechend PG
	DTV erstes Betriebsjahr	75'000	Fz., aktuelle Verkehrszahlen
Verkehr	Schwerverkehrsanteil	10%	aktuelle Verkehrszahlen
	Verkehrszunahme	1%	pro Jahr - Annahme, müsste im konkreten Fall durch ein Verkehrsmodell gestützt werden
Kosten Folgeprojekte	Gemeinkostenzuschlag auf direkte Kosten	20%	Annahme, abgeleitet aus GK-Zuschlag Anfangsinvestition (27%), ist im konkreten Fall zu prüfen und zu begründen
	Kostenentwicklung relativ zu Baupreisen	1%	Zunahme pro Jahr ab 1. Betriebsjahr - Annahme, ist im konkreten Fall zu prüfen und zu begründen
betrieblicher Unterhalt, KBU	Kostenentwicklung relativ zu Baupreisen	1%	Zunahme pro Jahr ab 1. Betriebsjahr - Annahme entsprechend Norm, ist im konkreten Fall zu prüfen und zu begründen
	Rücksetzwerte:		
kleiner baulicher UH	nach Anfangsinvestition	75%	
	nach 1. Folgeprojekt	50%	
	nach 2. Folgeprojekt	5%	um ...% geringere Kosten als Norm- bzw. Vorjahreswert - Annahme, im Einzelfall zu prüfen
	nach 3. Folgeprojekt	65%	
	nach 4. Folgeprojekt	50%	
	Kostenentwicklung KBU zwischen Anfangsinvestition und Folgeprojekten	10%	Zunahme pro Jahr - Annahme, ist im konkreten Fall zu prüfen und zu begründen
SABA	zu entwässernde Gesamtfläche	60,9	Hektar

Tab. I-6 Folgemassnahmen

Tabelle I-3 aggregiert				daraus abgeleitete Folgeprojekte und ihre Kosten						
Bereich	Massnahmenzuordnung	Anfangsinvestition, CHF 2023	Nutzungsdauer	Kosten Folgemassnahmen, CHF 2023, inkl. 20% GK-Zuschlag	IBN anf. BJ	1. Folgeprojekt im BJ	2. Folgeprojekt im BJ	3. Folgeprojekt im BJ	4. Folgeprojekt im BJ	5. Folgeprojekt im BJ
1 Trasse	1.1 TeSi UPlanS	460'000	15	552'000	6	18-19		33-34	48-49	
	1.2.1 Belag PA11	34'690'000	15	41'628'000	6	18-19		33-34	48-49	
	1.2.2 Belag SDA8-12	13'760'000	25	16'512'000	10			33-34		58-59
	1.3 FZRHS	2'060'000	25	2'472'000	10			33-34		58-59
	1.4 Zäune	4'590'000	25	5'508'000	10			33-34		58-59
	1.5 Markierung und Signalisation	4'590'000	15	5'508'000	6	18-19		33-34	48-49	
2 BSA	2.1 Energieversorgung	90'000	20	108'000	10		28-29		48-49	
	2.2 Beleuchtung	40'000	20	48'000	10		28-29		48-49	
	2.3 Verkehrszählstelle	130'000	20	156'000	10		28-29		48-49	
	2.4 Überwachungsanl.	560'000	20	672'000	10		28-29		48-49	
	2.5 Kommunikation und Leittechnik	130'000	20	156'000	10		28-29		48-49	
	2.6 Kabelanlagen	350'000	40	420'000	10				48-49	
	2.7 Weiteres	140'000	20	168'000	10		28-29		48-49	
3 Kunstbauten	3.1 Bauwerk N1-120	4'570'000	50	5'484'000	10					58-59
	3.2 Bachdurchlässe	26'290'000	50	31'548'000	10					58-59
	3.3 diverse Objekte	1'370'000	50	1'644'000	10					58-59
4 SABA	4.1.1 SABA (Ingenieurbau)	18'520'000	50	22'224'000	10					58-59
	4.1.2 SABA (EMSR)	2'060'000	20	2'472'000	10		28-29		48-49	
	4.2 Pumpwerke	2'740'000	25	3'288'000	10			33-34		58-59
	4.3 Kanalneubau	3'430'000	50	4'116'000	10					58-59
4.4 Druckleitung	1'710'000	50	2'052'000	10					58-59	
5 Wildtierbrücke Oftringen	5.1 Brücke und Zaun	16'000'000	50	19'200'000	10					58-59
6 Lärmschutzwände	6.1 Neubau	5'720'000	25	1'104'000 Instandst.	10			33-34		58-59
	6.2 Instandstellung	2'290'000	25	2'748'000	10			33-34		58-59
7 Regenbecken Safenwil	7.1 Regenbecken	550'000	50	660'000	10					58-59
	7.2 Pumpwerke	340'000	25	408'000	10			33-34		58-59
	7.3 Druckleitungen	230'000	50	276'000	10					58-59
	7.4 Abwassergebühren	3'430'000	50	4'116'000	10					58-59
direkte Kosten, vor Gemeinkosten		150'840'000		Total Basiskosten der der Folgeprojekte inkl. Gemeinkosten:		47'688'000	3'780'000	79'728'000	51'888'000	123'360'000
8 Allgemein	8.1 PV, Eigenleistung, Reserve, exkl. MWSt	40'070'000								
	in Prozent der direkten Kosten	27%		20% (oben bereits enthalten)						
Summe		190'910'000								

Tab. I-7 Jährliche Ausgaben für Folgeprojekte

	Ausführung im Betrachtungsjahr	Kosten Folgemaßnahmen, CHF 2023	Kostenzuschlag 1% pro Betriebsjahr	Ausgaben Folgemaßnahmen effektiv, CHF 2023	Gesamtkosten pro Folgeprojekt, Millionen CHF
Erstes Folgeprojekt	18	23'844'000	1.083	25'819'635	51,9
	19	23'844'000	1.094	26'077'832	
Zweites Folgeprojekt	28	1'890'000	1.196	2'260'719	4,5
	29	1'890'000	1.208	2'283'326	
Drittes Folgeprojekt	33	39'864'000	1.257	50'115'547	100,7
	34	39'864'000	1.270	50'616'702	
Viertes Folgeprojekt	48	25'944'000	1.460	37'865'975	76,1
	49	25'944'000	1.474	38'244'634	
Fünftes Folgeprojekt	58	61'680'000	1.612	99'442'104	199,9
	59	61'680'000	1.628	100'436'526	

Tab. I-8: Basiskostensätze für den jährlichen betrieblichen und kleinen baulichen Unterhalt auf dem betrachteten Strassenabschnitt

Autobahnen, Autostrasse, offen		Normwerte, CHF/m 2017	Teuerung 2017 → 2023	%	CHF/m 2023
Basiskosten pro Jahr		129.52	1.1596		150.20
darin Produkte inkl. Gemeinkostenanteil:	Winterdienst			23%	34.53
	Grünpflege			18%	27.66
	Reinigung (ohne SABA)			18%	27.43
	kleiner baulicher Unterhalt			24%	35.97
	BSA und Energieverbrauch			16%	24.61
Zu/Abschläge bezogen auf Umgebung und Belastung:					
DTV 1. Betriebsjahr	75'000 statt 40'000	9.45	1.1596		10.96
Schwerverkehrsanteil	10% statt 6%	1.16	1.1596		1.35
Infrastrukturdichte	normal	0.00	1.1596		0.00
korrigierte Basiskosten 1. Betriebsjahr					162.50
korrigierte Basiskosten Produkte:	Winterdienst				37.36
	Grünpflege				29.92
	Reinigung (ohne SABA)				29.67
	kleiner baulicher Unterhalt				38.91
	BSA und Energieverbrauch				26.63
produktbezogene Zu/Abschläge:					
Aufwand/Anforderungen Winterdienst	normal	0.00	1.1596		0.00
Aufwand/Anforderungen Grünpflege	normal	0.00	1.1596		0.00
Aufwand/Anforderungen Reinigung	normal	0.00	1.1596		0.00
Aufwand/Anforderungen kleiner baul. UH	normal	0.00	1.1596		0.00
Ausrüstungsgrad/Aufwand BSA	normal	0.00	1.1596		0.00
Effektive Kosten	Kosten Winterdienst				37.36
	Kosten Grünpflege				29.92
	Kosten Reinigung (ohne SABA)				29.67
	Basiskosten projektfreier baulicher UH				38.91
	Kosten BSA und Energieverbrauch				26.63
Insgesamt					162.50

Tab. I-9 Kostensätze für den Betrieb von SABAs gemäss ASTRA-Dokumentation 88002d

SABA-Leistungsklasse	jährliche Unterhaltskosten pro Hektare angeschlossenere Strassenfläche, CHF 2021	oberer Wert, CHF/ha 2021	Teuerung 2021 → 2023	oberer Wert, CHF/ha 2023	Mittelwert, CHF/ha 2023
5	≤ 700	700		770	
4	≤ 1'400	1'400		1'540	1'155
3	≤ 2'100	2'100	1.0998	2'310	1'925
2	≤ 2'800	2'800		3'080	2'695
1	> 2'800	2'800		3'080	

Tab. I-10 Betriebskosten der SABAs im Anwendungsbeispiel

Zu entwässernde Gesamtfläche (ha) gem. PG (für alle 6 SABAs)	60.9
Kosten für den betrieblichen Unterhalt pro Hektar, CHF 2023	1'925.00
Kosten für den betrieblichen Unterhalt der 6 neuen SABAs, 1. Betriebsjahr, CHF 2023	117'233

Tab. I-11: Betriebskostenkennzahlen auf dem Strassenabschnitt im Zeitablauf (CHF/m 2023)

Betriebs-jahr	DTV	Basiskosten-zuschläge (DTV und SV-Anteil)	korri-gierte Basis-kosten	Winter-dienst	Grün-pflege	Rei-nigung ohne SABA	BSA und Energie-ver-brauch	Rücksetz-wert KBU nach Anf. invest. und Folgeproj.	kleiner baulicher Unterhalt
Normwerte, CHF 2023 ohne BK-Zuschl.			150.20						
Normwerte, CHF 2023 mit BK-Zuschl.			162.50	37.36	29.92	29.67	26.63		38.91
1	75'000	12.30	162.50	37.36	29.92	29.67	26.63	75%	9.73
2	75'750	12.54	162.73	37.42	29.97	29.71	26.67		10.70
3	76'508	12.78	162.97	37.47	30.01	29.76	26.71		11.77
4	77'273	13.02	163.21	37.53	30.05	29.80	26.75		12.95
5	78'045	13.26	163.45	37.58	30.10	29.85	26.79		14.24
6	78'826	13.50	163.70	37.64	30.14	29.89	26.83		15.67
7	79'614	13.75	163.94	37.69	30.19	29.94	26.87		17.23
8	80'410	14.00	164.19	37.75	30.23	29.98	26.91		18.96
9	81'214	14.25	164.45	37.81	30.28	30.03	26.95		20.85
10	82'026	14.50	164.70	37.87	30.33	30.07	26.99		22.94
11	82'847	14.76	164.96	37.93	30.37	30.12	27.03	50%	12.62
12	83'675	15.02	165.22	37.99	30.42	30.17	27.08		13.88
13	84'512	15.28	165.48	38.05	30.47	30.22	27.12		15.27
14	85'357	15.55	165.74	38.11	30.52	30.26	27.16		16.79
15	86'211	15.81	166.01	38.17	30.57	30.31	27.21		18.47
16	87'073	16.08	166.28	38.23	30.62	30.36	27.25		20.32
17	87'943	16.36	166.55	38.29	30.67	30.41	27.29		22.35
18	88'823	16.63	166.83	38.36	30.72	30.46	27.34		24.59
19	89'711	16.91	167.11	38.42	30.77	30.51	27.39		27.04
20	90'608	17.19	167.39	38.49	30.82	30.56	27.43		29.75
21	91'514	17.47	167.67	38.55	30.87	30.62	27.48	5%	31.09
22	92'429	17.76	167.96	38.62	30.93	30.67	27.52		34.20
23	93'354	18.05	168.25	38.68	30.98	30.72	27.57		37.62
24	94'287	18.34	168.54	38.75	31.03	30.77	27.62		41.38
25	95'230	18.64	168.83	38.82	31.09	30.83	27.67		45.51
26	96'182	18.94	169.13	38.89	31.14	30.88	27.72	65%	17.52
27	97'144	19.24	169.43	38.96	31.20	30.94	27.77		19.28
28	98'116	19.54	169.74	39.03	31.26	30.99	27.82		21.20
29	99'097	19.85	170.04	39.10	31.31	31.05	27.87		23.32
30	100'088	20.16	170.36	39.17	31.37	31.11	27.92		25.66
31	101'089	20.47	170.67	39.24	31.43	31.16	27.97		28.22
32	102'100	20.79	170.99	39.31	31.48	31.22	28.02		31.04
33	103'121	21.11	171.30	39.39	31.54	31.28	28.07		34.15
34	104'152	21.43	171.63	39.46	31.60	31.34	28.13		37.56
35	105'193	21.76	171.95	39.54	31.66	31.40	28.18		41.32
36	106'245	22.09	172.28	39.61	31.72	31.46	28.23		45.45
37	107'308	22.42	172.62	39.69	31.79	31.52	28.29		50.00
38	108'381	22.76	172.95	39.77	31.85	31.58	28.34		54.99
39	109'465	23.09	173.29	39.84	31.91	31.64	28.40		60.49
40	110'559	23.44	173.63	39.92	31.97	31.70	28.46		66.54
41	111'665	23.78	173.98	40.00	32.04	31.77	28.51	50%	36.60
42	112'781	24.13	174.33	40.08	32.10	31.83	28.57		40.26
43	113'909	24.49	174.68	40.16	32.17	31.90	28.63		44.28
44	115'048	24.84	175.04	40.25	32.23	31.96	28.69		48.71
45	116'199	25.20	175.40	40.33	32.30	32.03	28.74		53.58
46	117'361	25.57	175.76	40.41	32.36	32.09	28.80		58.94
47	118'534	25.93	176.13	40.50	32.43	32.16	28.86		64.84
48	119'720	26.31	176.50	40.58	32.50	32.23	28.93		71.32
49	120'917	26.68	176.88	40.67	32.57	32.30	28.99		78.45
50	122'126	27.06	177.26	40.76	32.64	32.37	29.05		86.30

Tab. I-12: Kosten BUH u. KBU inkl. SABA auf dem betrachteten Strassenabschnitt (CHF 2023)

Be- triebs- jahr	jährl. Kosten- zuschlag auf das Preisni- veau des BZP	Winter- dienst	Grünpflege	Reinigung	SABA	BSA und Energie- verbrauch	kleiner baulicher Unterhalt	BUH und KBU, insgesamt
1	1.000	750'989	601'444	596'400	117'233	535'276	195'536	2'796'877
2	1.010	759'595	608'336	603'234	118'405	541'410	217'241	2'848'221
3	1.020	768'309	615'315	610'155	119'589	547'621	241'354	2'902'343
4	1.030	777'133	622'382	617'162	120'785	553'910	268'145	2'959'516
5	1.041	786'068	629'537	624'258	121'993	560'279	297'909	3'020'043
6	1.051	795'115	636'783	631'443	123'213	566'728	330'976	3'084'258
7	1.062	804'277	644'121	638'719	124'445	573'258	367'715	3'152'534
8	1.072	813'555	651'551	646'087	125'689	579'871	408'531	3'225'284
9	1.083	822'950	659'076	653'548	126'946	586'568	453'878	3'302'966
10	1.094	832'465	666'696	661'104	128'215	593'349	504'259	3'386'089
11	1.105	842'101	674'413	668'757	129'498	600'217	280'116	3'195'101
12	1.116	851'859	682'228	676'506	130'793	607'173	311'209	3'259'768
13	1.127	861'742	690'143	684'355	132'101	614'217	345'753	3'328'310
14	1.138	871'752	698'159	692'304	133'422	621'351	384'131	3'401'118
15	1.149	881'889	706'278	700'354	134'756	628'577	426'770	3'478'623
16	1.161	892'156	714'500	708'508	136'103	635'895	474'141	3'561'303
17	1.173	902'555	722'828	716'766	137'464	643'307	526'771	3'649'691
18	1.184	913'087	731'264	725'131	138'839	650'814	585'242	3'744'377
19	1.196	923'756	739'807	733'603	140'227	658'418	650'204	3'846'016
20	1.208	934'562	748'462	742'184	141'630	666'120	722'377	3'955'334
21	1.220	945'507	757'227	750'877	143'046	673'921	762'433	4'033'011
22	1.232	956'594	766'107	759'681	144'476	681'824	847'063	4'155'745
23	1.245	967'825	775'101	768'600	145'921	689'828	941'087	4'288'362
24	1.257	979'201	784'212	777'635	147'380	697'937	1'045'548	4'431'913
25	1.270	990'725	793'441	786'787	148'854	706'151	1'161'603	4'587'563
26	1.282	1'002'400	802'791	796'058	150'343	714'472	451'689	3'917'754
27	1.295	1'014'226	812'263	805'450	151'846	722'902	501'827	4'008'515
28	1.308	1'026'208	821'858	814'965	153'365	731'442	557'530	4'105'367
29	1.321	1'038'346	831'579	824'605	154'898	740'093	619'416	4'208'936
30	1.335	1'050'643	841'427	834'370	156'447	748'858	688'171	4'319'916
31	1.348	1'063'101	851'405	844'264	158'012	757'738	764'558	4'439'078
32	1.361	1'075'723	861'514	854'288	159'592	766'734	849'424	4'567'275
33	1.375	1'088'512	871'756	864'444	161'188	775'850	943'710	4'705'459
34	1.389	1'101'469	882'133	874'734	162'800	785'085	1'048'461	4'854'682
35	1.403	1'114'598	892'647	885'160	164'428	794'443	1'164'841	5'016'116
36	1.417	1'127'900	903'300	895'725	166'072	803'924	1'294'138	5'191'058
37	1.431	1'141'378	914'095	906'429	167'733	813'531	1'437'787	5'380'953
38	1.445	1'155'036	925'033	917'275	169'410	823'266	1'597'382	5'587'401
39	1.460	1'168'875	936'116	928'265	171'104	833'130	1'774'691	5'812'181
40	1.474	1'182'899	947'347	939'402	172'815	843'125	1'971'682	6'057'270
41	1.489	1'197'110	958'728	950'688	174'543	853'254	1'095'269	5'229'593
42	1.504	1'211'511	970'262	962'124	176'289	863'518	1'216'844	5'400'548
43	1.519	1'226'104	981'949	973'714	178'052	873'920	1'351'914	5'585'653
44	1.534	1'240'894	993'794	985'459	179'832	884'462	1'501'976	5'786'416
45	1.549	1'255'882	1'005'797	997'362	181'630	895'145	1'668'695	6'004'511
46	1.565	1'271'072	1'017'962	1'009'425	183'447	905'971	1'853'921	6'241'798
47	1.580	1'286'467	1'030'291	1'021'651	185'281	916'944	2'059'706	6'500'340
48	1.596	1'302'069	1'042'787	1'034'041	187'134	928'065	2'288'333	6'782'430
49	1.612	1'317'883	1'055'452	1'046'600	189'005	939'336	2'542'338	7'090'614
50	1.628	1'333'911	1'068'288	1'059'328	190'895	950'760	2'824'538	7'427'720

Tab. I-13 Gesamtkosten, Millionen Franken, CHF 2023

Betrachtungsjahr	Anfangsinvestition	BUH, KBU	Folgeprojekte	Gesamt
0				0.0
1				0.0
2	2.0			2.0
3	2.0			2.0
4	25.9			25.9
5	25.9			25.9
6	2.0			2.0
7	43.0			43.0
8	45.0			45.0
9	45.0			45.0
10		2.8		2.8
11		2.8		2.8
12		2.9		2.9
13		3.0		3.0
14		3.0		3.0
15		3.1		3.1
16		3.2		3.2
17		3.2		3.2
18		3.3	25.8	29.1
19		3.4	26.1	29.5
20		3.2		3.2
21		3.3		3.3
22		3.3		3.3
23		3.4		3.4
24		3.5		3.5
25		3.6		3.6
26		3.6		3.6
27		3.7		3.7
28		3.8	2.3	6.1
29		4.0	2.3	6.2
30		4.0		4.0
31		4.2		4.2
32		4.3		4.3
33		4.4	50.1	54.5
34		4.6	50.6	55.2
35		3.9		3.9
36		4.0		4.0
37		4.1		4.1
38		4.2		4.2
39		4.3		4.3
40		4.4		4.4
41		4.6		4.6
42		4.7		4.7
43		4.9		4.9
44		5.0		5.0
45		5.2		5.2
46		5.4		5.4
47		5.6		5.6
48		5.8	37.9	43.7
49		6.1	38.2	44.3
50		5.2		5.2
51		5.4		5.4
52		5.6		5.6
53		5.8		5.8

Tab. I-13 Gesamtkosten, Millionen Franken, CHF 2023

Betrachtungsjahr	Anfangsinvestition	BUH, KBU	Folgeprojekte	Gesamt
54		6.0		6.0
55		6.2		6.2
56		6.5		6.5
57		6.8		6.8
58		7.1	99.4	106.5
59		7.4	100.4	107.9
Total	191	222	433	846

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
/a	pro Jahr
AP	Ausführungsprojekt
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAV	Bundesamt für Verkehr
BFS	Bundesamt für Statistik
BJ	Betrachtungsjahr
BK-Zuschlag	Basiskostenzuschlag
BSA	Betriebs- und Sicherheitsausrüstung
BtrJ	Betriebsjahr
BUH	betrieblicher Unterhalt
BW	Barwert
BZP	Betrachtungszeitpunkt
CHF	Schweizer Franken
CO ₂	Kohlendioxid
DTV	durchschnittlicher täglicher Verkehr
EH	Erhaltung
EHM	Erhaltungsmassnahmen
EMSR	elektronische Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik
EP	Erhaltungsprojekt
Fr.	Schweizer Franken
Fz.	Fahrzeuge
GK	Gemeinkosten
ha	Hektar
IBN	Inbetriebnahme
K	Kunstabauten
KBU	kleiner baulicher Unterhalt
km	Kilometer
LZK	Lebenszykluskosten
m	Meter
MCHF	Millionen Schweizer Franken
MK	Massnahmenkonzept
MP	Massnahmenprojekt
Mt.	Monat
MTTF	Mean time between failures
MTTR	Mean time to repair
MWSt.	Mehrwertsteuer
ND	Nutzungsdauer
NISTRA	Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte
NSG	Bundesgesetz über die Nationalstrassen
NSV	Nationalstrassenverordnung
ÖV	Öffentlicher Verkehr
p.a.	pro Jahr
PG	Projektgenerierung
PL	Projektleitung
PV	Projektverfasser
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety
SABA	Strassenabwasserbehandlungsanlage
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

Abkürzung	Bedeutung
SN	Schweizer Norm
SV-Anteil	Schwerverkehrsanteil
TeSi	Temporäre Signalisation
TI	Teuerungsindex
T/G	Tunnel und Geotechnik
T/U	Trassee und Umwelt
UH	Unterhalt
UPIaNS	Unterhaltskonzept der Nationalstrassen
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VoMa	vorgezogene Massnahmen
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
VZ	Verzweigung

Literaturverzeichnis

Bundesgesetze und Verordnungen

-
- [1] Schweizerische Eidgenossenschaft (1960), „**Bundesgesetz vom 8. März 1960 über die Nationalstrassen (NSG)**“, SR 725.11, www.admin.ch
-
- [2] Schweizerische Eidgenossenschaft (2007), „**Nationalstrassenverordnung (NSV)**“, SR 725.111, www.admin.ch
-

Weisungen, Richtlinien, Dokumentationen des ASTRA

-
- [3] Bundesamt für Strassen ASTRA (2019), „**Inventarobjekte**, Richtlinie ASTRA 1B001, www.astra.admin.ch
-
- [4] Bundesamt für Strassen ASTRA (2002), „**Berücksichtigung des Unterhalts bei der Projektierung und beim Bau der Nationalstrassen, Planung und Durchführung des Unterhalts**“, Richtlinie ASTRA 11002, www.astra.admin.ch
-
- [5] Bundesamt für Strassen ASTRA (2024), „**Fahrzeugrückhaltesysteme**“, Richtlinie ASTRA 11005, www.astra.admin.ch
-
- [6] Bundesamt für Strassen ASTRA (2005), „**Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen**“, Richtlinie ASTRA 12001, www.astra.admin.ch
-
- [7] Bundesamt für Strassen ASTRA (2011), „**Konstruktive Einzelheiten von Brücken**“, Richtlinie ASTRA 12004, www.astra.admin.ch
-
- [8] Bundesamt für Strassen ASTRA (2022), „**Boden- und Felsanker**“, Richtlinie ASTRA 12005, www.astra.admin.ch
-
- [9] Bundesamt für Strassen ASTRA (2021), „**Lüftung der Strassentunnel**“, Richtlinie ASTRA 13001, www.astra.admin.ch
-
- [10] Bundesamt für Strassen ASTRA (2009), „**Türen und Tore in Strassentunneln**“, Richtlinie ASTRA 13011, www.astra.admin.ch
-
- [11] Bundesamt für Strassen ASTRA (2019), „**Kabelanlagen der Nationalstrassen**“, Richtlinie ASTRA 13022, www.astra.admin.ch
-
- [12] Bundesamt für Strassen ASTRA (2015), „**Betrieb NS – Teilprodukt Kleiner baulicher Unterhalt. Bauliche Reparaturen / Kleine Einzelmassnahmen**“, Richtlinie ASTRA 16330, www.astra.admin.ch
-
- [13] Bundesamt für Strassen ASTRA (2016), „**Erhaltungsplanung – Arbeitsprozesse und Produkte**“, Handbuch ASTRA 2B010, www.admin.ch
-
- [14] Bundesamt für Strassen ASTRA (2025), „**Anwendung der Ökobilanz-Methode für die Infrastruktur von Nationalstrassen**“, Dokumentation ASTRA 8B001, www.admin.ch
-
- [15] Bundesamt für Strassen ASTRA (2021), „**Strassenabwasserbehandlungsverfahren**“, Dokumentation ASTRA 88002, www.admin.ch
-
- [16] Bundesamt für Strassen ASTRA (2013), „**Methodik zur Prüfung der Verhältnismässigkeit von Strassenabwasserbehandlungsanlagen**“, Dokumentation ASTRA 88003, www.astra.admin.ch
-
- [17] Bundesamt für Strassen ASTRA (2024), „**Beleuchtungsanlagen**“, Richtlinie ASTRA 13015, www.astra.admin.ch
-
- [18] Bundesamt für Strassen ASTRA (2022), „**Betrieb NS-Vergütung**“, Richtlinie ASTRA 16310, www.astra.admin.ch
-
- [19] Bundesamt für Strassen ASTRA (2011), „**Betrieb NS – Zuordnung von Tätigkeiten zu der Produktgruppe Strasseninfrastruktur**“, Richtlinie ASTRA 16320, www.astra.admin.ch
-
- [20] Bundesamt für Strassen ASTRA (2023), „**Trassee / Umwelt (FHB T/U)**“, Fachhandbuch ASTRA 21001, www.astra.admin.ch
-
- [21] Bundesamt für Strassen ASTRA (2023), „**Kunstbauten (FHB K)**“, Fachhandbuch ASTRA 22001, www.astra.admin.ch
-
- [22] Bundesamt für Strassen ASTRA (2023), „**Betriebs und Sicherheitsausrüstungen (FHB BSA)**“, ASTRA Fachhandbuch 23001, www.astra.admin.ch
-
- [23] Bundesamt für Strassen ASTRA (2023), „**Tunnel/Geotechnik (FHB TG)**“, Fachhandbuch ASTRA 24001, www.astra.admin.ch
-
- [24] Bundesamt für Strassen ASTRA (2024), „**Rechnungswesen Betrieb**“, Handbuch ASTRA 26030, www.astra.admin.ch
-

-
- [25] Bundesamt für Strassen ASTRA (2022), „**OT Security Governance - Security im Bereich BSA-Systeme**“, Weisungen ASTRA 73006, www.astra.admin.ch
-
- [26] Bundesamt für Strassen ASTRA (2007), „**Alkali-Aggregat-Reaktion (AAR)**“, Dokumentation ASTRA 82013, www.astra.admin.ch
-
- [27] Bundesamt für Strassen ASTRA (2023), „**Basaltfaser-Bewehrung Sachstandsbericht**“, Dokumentation ASTRA 82023, www.astra.admin.ch
-
- [28] Bundesamt für Strassen ASTRA (2024), „**Neues Entwurfsverfahren für Beton – Pilotanwendung bei der Bahnhofbrücke Tüscherz**“, Dokumentation ASTRA 82024, www.astra.admin.ch
-
- [29] Bundesamt für Strassen ASTRA (2012), „**Naturgefahren auf Nationalstrassen – Risikokonzept**“, Dokumentation ASTRA 89001, www.astra.admin.ch
-

Normen

-
- [30] VSS 640 900a „**Erhaltungsmanagement**“, Grundnorm, gültig ab 2004
-
- [31] VSS 641 820 „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr**“, gültig ab 31.12.2019
-
- [32] VSS 41 821 „**Diskontsatz für Kosten-Nutzen-Analysen im Verkehr**“, gültig ab 2005
-
- [33] VSS 41 822a „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr: Zeitkosten im Personenverkehr**“ (2009, in Überarbeitung)
-
- [34] VSS 41 823 „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr: Zeitkosten im Güterverkehr**“ (2007)
-
- [35] VSS 41 824 „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Unfallraten und Unfallkostensätze**“ (2013, in Überarbeitung)
-
- [36] VSS 41 825 „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Bewertung der Zuverlässigkeit von Nationalstrassen und Bemessungsempfehlung für Nationalstrassen**“ (2017)
-
- [37] VSS 41 826 „**Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen**“, gültig ab 30.4.2021
-

Weitere Dokumente und Berichte

-
- [38] Bundesamt für Strassen ASTRA (2023), „**Handbuch NISTRA 2022**“
-
- [39] Bundesamt für Strasse ASTRA (2023), „**Bericht Betrieblicher Unterhalt Nationalstrassen**“, Ausgabe 2022
-
- [40] Bundesamt für Strassen ASTRA (2024), „**Betrieblicher Unterhalt Nationalstrassen, Globale – Angebotskosten 2023, intern**“
-
- [41] Bundesamt für Strassen ASTRA (2018), „**Analyse Personalbedarf für den Ausbau, Unterhalt und Betrieb der Nationalstrassen-Infrastruktur**“, Schlussbericht Version 1.1 vom 22.11.2018 (intern), Helbling Beratung + Bauplanung AG
-
- [42] Bundesamt für Strassen ASTRA (2024), „**Verkehrsentwicklung und Verkehrsfluss 2023**“
-
- [43] R+R Burger und Partner AG, Albrecht J.E. AG (2014), „**Grundlagen zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen**“, ASTRA-Forschungsbericht 1501
-
- [44] R+R Burger und Partner AG (2018), „**Grundlagen zur Aktualisierung SN 641 826 – Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen**“, ASTRA-Forschungsbericht 1644
-
- [45] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2014), „**Anweisung zur Kostenermittlung und zur Veranschlagung von Strassenbaumassnahmen AKVS**“, Ausgabe 04/2023
-
- [46] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2010), „**Verordnung zur Berechnung von Ablösungsbeträgen nach dem Eisenbahnkreuzungsgesetz, dem Bundesfernstrassengesetz und dem Bundeswasserstrassengesetz (Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung - ABBV)**“
-

Grundlagen für die Anwendungsbeispiele

-
- [47] Bundesamt für Strassen ASTRA (2019), „**N01-32 Verzweigung Wiggertal – Verzweigung Birrfeld, Projektgenerierung EP VZ Wiggertal – Aarau Ost**“, Schlussbericht, erstellt am 25.2.2019, PL Bundesamt für Strassen, Filiale Zofingen, erarbeitet von Rosenthaler + Partner AG, Zürich
-
- [48] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2012), „**N06 Kiesen – Thun Süd, EP Rubigen – Spiez, Massnahmenkonzept T1001 Allmendtunnel**“, technischer Bericht, Projektverfasser Ingenieurgemeinschaft 4, Freigabe PL 3.4.2012
-
- [49] Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Thun (2014), „**N06 Kiesen – Thun Süd, EP Rubigen – Spiez, Massnahmenprojekt Allmendtunnel T1001**“, technischer Bericht, Projektverfasser Ingenieurgemeinschaft 4, Freigabe PL 18.6.2014
-

-
- [50] Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Thun (2015), „**N06 Kiesen – Thun Süd, EP Rubigen – Spiez, Massnahmenprojekt Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA)**“, technischer Bericht, Projektverfasser InGe N06 EP-BSA, datiert 30.9.2015
-
- [51] Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Thun (2019), „**N08, EP Spiez – Interlaken West, Massnahmenprojekt Kostenvoranschlag VoMa J36 Budelbachbrücke**“, Projektverfasser IG Bödéli, datiert 29.11.2019
-
- [52] Bundesamt für Strassen ASTRA, Filiale Thun (2022), „**Massnahmenkonzept N08, EP Spiez – Interlaken West, Kostenvoranschlag Kunstbauten**“, Projektverfasser IG Bödéli, MK-22.K6 datiert 14.10.2022
-
- [53] Bundesamt für Strassen ASTRA, „**Tunnelsicherheit A8, Newsletter 9. September 2020**“, <https://www.tunnelsicherheit-a8.ch/tusi/de/newsletter-2020-22>
-
- [54] Kanton Luzern, Bau- Umwelt- und Wirtschaftsdepartement (2005), „**A2 Sursee – Reussegg, 10 060 Autobahnanschlüsse Rothenburg und Emmen-Nord, A2 Anschluss Rothenburg, Kostenvoranschlag**“, Ausführungsprojekt ASTRA, Projektverfasser IG ARP/Locher, 10 060-291b, datiert 13.5.2005
-
- [55] Bundesamt für Strassen (ASTRA), ASTRA-D-33B43401/1339, „**Teuerungsindex Nationalstrassen, 19.12.2023**“
-

Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
2025	1.00	23.05.2025	Inkrafttreten Ausgabe 2025

