



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

# **Grundlagen zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen**

**Basics for the application of Life Cycle Costs in Road  
Infrastructure and Preservation Management**

**Base pour l'emploi des coûts du cycle de vie dans la  
gestion de l'entretien des routes**

**R+R Burger und Partner AG**  
**Dr. Jost Lüking**  
**Andreas Schneider**  
**Martin Hafen**

**Albrecht J.E. AG**  
**Joachim Albrecht**

**Forschungsprojekt VSS 2011/705 auf Antrag des Schweizerischen  
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



# **Grundlagen zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen**

**Basics for the application of Life Cycle Costs in Road  
Infrastructure and Preservation Management**

**Base pour l'emploi des coûts du cycle de vie dans la  
gestion de l'entretien des routes**

**R+R Burger und Partner AG**  
**Dr. Jost Lüking**  
**Andreas Schneider**  
**Martin Hafen**

**Albrecht J.E. AG**  
**Joachim Albrecht**

**Forschungsprojekt VSS 2011/705 auf Antrag des Schweizerischen  
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

# Impressum

## Forschungsstelle und Projektteam

### Projektleitung

Dr. Jost Lüking

### Mitglieder

Joachim Albrecht

Martin Hafen

Andreas Schneider

## Federführende Fachkommission

Fachkommission 7: Erhaltungsmanagement

## Begleitkommission

### Präsident

Dr. Rade Hajdin

### Mitglieder

Brian Adey

Hans Bär

Dirk Goebbels

Dr. Ali Rafi

Werner Ryter

Luzia Seiler

Alex Stuber

## Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

## Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum .....</b>	<b>4</b>
	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>9</b>
	<b>Résumé .....</b>	<b>13</b>
	<b>Summary .....</b>	<b>17</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>21</b>
1.1	Ziel der Forschung .....	21
1.2	Hintergrund, Ausgangslage und Abgrenzung .....	21
1.2.1	Ausgangslage und Begründung .....	21
1.2.2	Gegenstand der Forschung und Nutzen .....	21
1.2.3	Abgrenzung des Forschungsrahmens .....	21
1.3	Methodisches Vorgehen .....	22
<b>2</b>	<b>Grundlagen zum Methodenansatz von Lebenszykluskosten .....</b>	<b>23</b>
2.1	Was sind Lebenszykluskosten – LZK ? .....	24
2.2	Grundlagen des Life Cycle Costing .....	24
2.2.1	Ziele des Life Cycle Costing .....	25
2.2.2	Strategie mit Life Cycle Costing .....	26
2.2.3	Nutzen des Life Cycle Costing .....	26
2.2.4	Zusammenfassung Life Cycle Costing .....	27
2.3	Herleitung und Entwicklung .....	27
2.3.1	Quellenlage .....	27
2.3.2	Historie .....	27
2.3.3	Entwicklungen .....	28
2.3.4	Ressourcen der Wertschöpfungskette .....	29
2.3.5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im Rahmen des Life Cycle Costing .....	32
2.3.6	Differenzierung PLZK und OLZK .....	34
2.3.7	Lebenszyklusmanagement .....	35
2.3.8	Asset Management .....	40
2.3.9	Zusammenfassung „Herleitung und Entwicklung“ .....	43
2.4	Stand der Forschung und des Wissens .....	44
2.4.1	Verfahrens- und Modellvergleiche .....	44
2.4.2	Normen und Richtlinien .....	47
2.4.3	Standardisierungsbemühungen .....	50
2.4.4	Differente Betrachtungen – Diskussion .....	52
2.5	Methodenansatz .....	55
2.5.1	Abhängigkeiten der Lebenszykluskosten .....	55
2.5.2	Betrachtungszeiträume und Nutzungsdauern .....	56
2.5.3	Verhältnis Investitionsmassnahme zu Folgekosten .....	63
2.5.4	Beeinflussung der Lebenszykluskosten .....	67
2.5.5	Gesamtanlageneffektivität – OEE .....	68
2.5.6	Nachhaltige Anforderungsprofile .....	70
2.5.7	Kostenelemente der LZK .....	70
2.5.8	Zusammenfassung Methodenansatz .....	74
2.6	Modellierung .....	75
2.6.1	Objektpositionierung .....	76
2.6.2	Nutzungs- und Umnutzungsstrategie .....	76
2.6.3	Erhaltungsstrategien .....	76
2.6.4	Qualitätsparameter .....	77
2.6.5	Technisch-kalkulatorische LZK-Berechnung .....	80
2.6.6	Finanztechnische Berechnung .....	82
2.7	Folgerung aus den Grundlagen der LZK .....	82
<b>3</b>	<b>LZK für das Strassenmanagement .....</b>	<b>83</b>
3.1	Die Strassenverkehrsanlage .....	84
3.1.1	Struktur, Systemabgrenzung .....	84
3.1.2	Portfolio .....	85

3.1.3	Phasen des Lebenszyklus von Strassenanlagen .....	86
3.2	Bedürfnisse an die LZK im Strassenmanagement .....	86
3.3	LZ-Kostenarten bei Strassenverkehrsanlagen .....	87
3.3.1	Betreiberkosten .....	88
3.3.2	Nutzerkosten und Kosten Dritter .....	90
3.4	Life Cycle Costing für Strassen: Standortbestimmung .....	93
3.4.1	Fahrbahn .....	93
3.4.2	Brücken .....	95
3.4.3	Tunnel .....	98
3.4.4	Betriebs- und Sicherheitsausrüstung .....	100
3.4.5	Spezialfälle .....	102
3.4.6	Strassenrelevante LCC-Ansätze bei anderen Verkehrsträgern .....	104
3.4.7	Fazit zur Standortbestimmung .....	108
3.5	Besonderheiten der LZK-Betrachtung im Strassenmanagement .....	109
<b>4</b>	<b>Rahmenbedingungen zum Einsatz von LZK bei Strassenverkehrsanlagen .....</b>	<b>111</b>
4.1	System und Umfeld .....	111
4.1.1	Betreiber .....	111
4.1.2	Stakeholder .....	111
4.2	Vorgaben .....	112
4.2.1	Gesetze, Richtlinien, Normen .....	112
4.2.2	Nutzungsziele .....	112
4.2.3	Qualitätsvorgaben, „RAMS“ .....	112
4.2.4	Kosten- und Budgetvorgaben .....	113
4.2.5	Zeitliche Vorgaben .....	113
4.2.6	Weitere politische Vorgaben .....	114
4.3	Trends .....	114
4.3.1	Verkehrsentwicklung, Nutzungsintensität .....	114
4.3.2	Zustandsentwicklung .....	114
4.3.3	Technischer Fortschritt .....	115
4.3.4	Preisentwicklung .....	115
<b>5</b>	<b>Methodik .....</b>	<b>117</b>
5.1	Systemabgrenzung .....	117
5.1.1	Funktionale Aspekte .....	117
5.1.2	Räumliche Aspekte .....	117
5.1.3	Prozessbezogene Aspekte (Ressourceneinsatz) .....	118
5.1.4	Verantwortlichkeit .....	118
5.1.5	Strategische und operative Sichtweise .....	119
5.2	Bewertungsansätze .....	119
5.2.1	LZK als Barwert eines langfristigen Kostenstroms .....	119
5.2.2	Diskontierung .....	121
5.2.3	Lebenszykluskosten als Summe eines undiskontierten Kostenstroms .....	121
5.2.4	Equivalent Uniform Annual Cost (Rentenbarwert) .....	122
5.2.5	LZK als Summe von Betriebs- und Erhaltungsausgaben grosser, langlebiger Netze ...	123
5.2.6	Kostenfunktionen .....	124
5.2.7	Zusammenfassung .....	130
5.3	Lebenszyklus und Betrachtungszeitraum .....	131
5.3.1	Länge der Betrachtungszeiträume .....	131
5.3.2	Vergleich von Varianten mit unterschiedlichen Lebenszyklen (Lebensdauern, Kostenströmen); Restwertproblematik .....	133
5.3.3	Umgang mit Abbruchkosten .....	136
5.4	Umgang mit Unsicherheiten und Risiken .....	137
5.5	Der LCC-Prozessablauf .....	139
<b>6</b>	<b>Werkzeugkasten für die praktische Anwendung .....</b>	<b>143</b>
6.1	Schema für den Prozessablauf des Life Cycle Costing; Checkliste .....	143
6.2	Fallbeispiel Fahrbahnübergang .....	144
6.2.1	Anforderungen und Rahmenbedingungen klären .....	144
6.2.2	Systemgrenze festlegen .....	146
6.2.3	Lösungsvarianten konkretisieren und gestalten .....	147

6.2.4	Betrachtungszeitraum festlegen.....	152
6.2.5	Kostenmodell entwickeln.....	154
6.2.6	Umgang mit Unsicherheiten modellieren .....	161
6.2.7	Kontrollfragen; LCC als iterativer Prozess .....	166
6.3	Frequently Asked Questions (FAQ) .....	167
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen .....</b>	<b>171</b>
7.1	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen .....	171
7.1.1	LCC als Grundlage von Investitionsentscheidungen bei SVA'n .....	171
7.1.2	Anwendung von LCC im Strassenmanagement .....	171
7.2	Forschungsbedarf .....	172
7.2.1	Life Cycle Costing allgemein .....	172
7.2.2	LCC bei Strassenverkehrsanlagen .....	172
	<b>Anhänge .....</b>	<b>175</b>
	<b>Abkürzungen .....</b>	<b>179</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>181</b>
	<b>Projektabschluss .....</b>	<b>185</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen .....</b>	<b>189</b>





## Zusammenfassung

Die Forschungsarbeit legt relevante Grundlagen und konkrete Ansätze zur Berechnung und Anwendung der Lebenszykluskosten von Strassenanlagen vor. Der Bericht stellt ein allgemeines Handbuch zum Life Cycle Costing im Strassenmanagement dar.

### Grundlagen zum Methodenansatz von Lebenszykluskosten

Weltweit und branchenübergreifend gibt es keine einheitliche Definition zu Lebenszykluskosten und deren Anwendung. Im Rahmen dieses Projekts waren deshalb eigene Definitionen aufzustellen. Die zwei wesentlichsten Definitionen sind:

- Das Life Cycle Costing beschränkt sich auf Anlagen mit gegebener Funktionalität bzw. mit festgelegten funktionalen Anforderungen. Ist diese Bedingung eingehalten, so besteht das Ziel darin, die Lebenszykluskosten zu minimieren. Damit grenzt sich das Life Cycle Costing von allgemeineren Planungs- und Bewertungsverfahren ab, bei denen auch Funktion und Nutzen der Strassenanlage gestaltbar sind – hier braucht es zum Beispiel die Kosten-Nutzen-Analyse, welche die (Lebenszyklus-)Kosten ins Verhältnis zum Nutzen stellt.
- Zu berücksichtigende Kostenarten sind alle Betreiberkosten innerhalb des Betrachtungszeitraums. Zusätzlich können die volkswirtschaftlichen Kosten bei Nutzern und Dritten aufgrund von Betriebserschwernissen, Belästigungen und Unfällen durch Bau, Unterhalt, Qualitätsmängel und Störungen einbezogen werden.

Kostenträger	Phase	Erstellung	Betrieb	Rückbau
Betreiber		Anfangsinvestitionen	Betriebskosten Reparaturkosten Erhaltungskosten	Kosten für Rückbau und Entsorgung
Nutzer		Betriebserschwerneiskosten und Unfallkosten durch Bau, Unterhalt, Qualitätsmängel und Störungen		
Dritte		Belastungen und Beeinträchtigungen Dritter durch Bau, Unterhalt, Qualitätsmängel und Störungen		

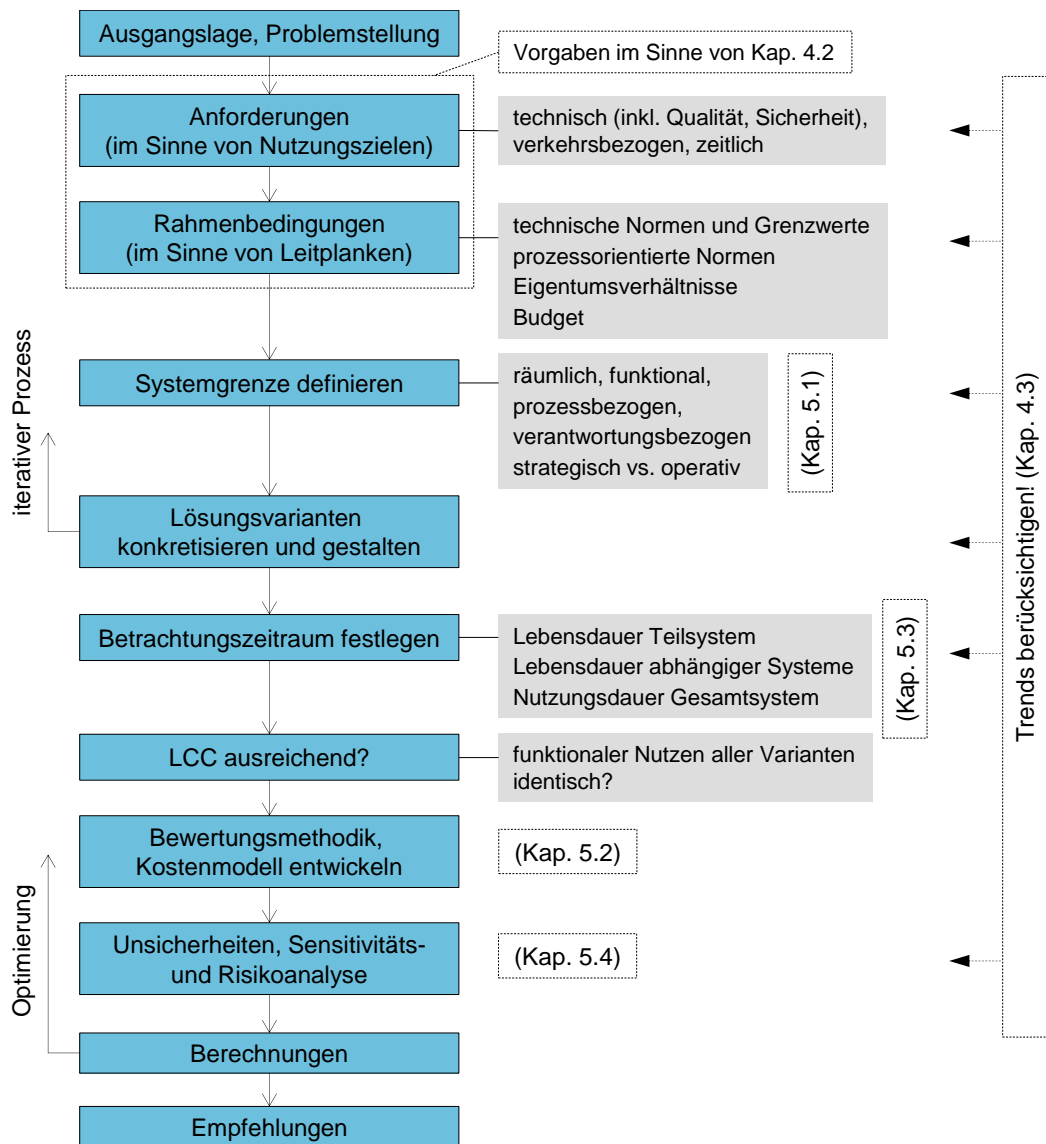
**Abb. 0-1:** Grobsystematik der Lebenszykluskosten

Das Instrumentarium zur Minimierung der Lebenszykluskosten ist das "Life Cycle Costing" (LCC). Das Life Cycle Costing beschränkt sich nicht auf die reine Analyse, sondern ist eine Gestaltungsaufgabe und ein iterativer Prozess. Funktion und Nutzen sind dabei vorgegeben.

### Prozessablauf / Checkliste zur Anwendung des Life Cycle Costing

Der Prozessablauf ist unabhängig von der Entscheidungssituation und für alle Teilsysteme gemäss SN 640 900 derselbe. Die spezifische Bewertungsmethodik, der Betrachtungszeitraum und die Risikoanalyse müssen jedoch situationsbezogen festgelegt werden.

Das nachfolgende Schema zeigt die einzelnen Elemente resp. Schritte auf, welche zu einem vollständigen Life Cycle Costing gehören. Die Elemente werden – dem Ansatz des Systems Engineering folgend – in einen strukturierten Entwicklungsprozess eingebunden. In der Praxis kann es durchaus sein, dass die Reihenfolge im skizzierten Prozessablauf etwas umgestellt und sehr stark iterativ gearbeitet wird. In diesem Sinne sind die einzelnen Schritte im Schema auch als Checkliste zu verstehen, damit nichts vergessen wird.



**Abb. 0-2:** Schema für Prozessablauf LCC; Checkliste

Einfluss auf das Resultat haben insbesondere die Definition der Systemgrenzen und des Betrachtungszeitraums, die Festlegung der Vorgaben (Nutzungsziele, Qualitätsvorgaben, Budget, etc.) sowie der Umgang mit Trends, Unsicherheiten und Risiken.

### Folgerungen und Empfehlungen

Für die Anwendung des Life Cycle Costing im Strassenmanagement von der Gemeindeebene bis zum Bund sind die folgenden praktischen Erkenntnisse wichtig:

- Life Cycle Costing vermag einen wesentlichen Beitrag zur Kostensenkung zu leisten. Da Strasseninfrastruktur kapitallastig ist, ist die Nutzungsdauer und deren Verlängerung ein wichtiger Ansatzpunkt.
- Die Werterhaltungsstrategie hat einen erheblichen Einfluss auf den Betrachtungszeitraum.
- Life Cycle Costing ist eine Gestaltungsaufgabe. Mittels LCC wird in einem iterativen Prozess mit einer optimalen Systemabgrenzung die Lösung (Erhaltungsstrategie, Bauvariante, etc.) mit den minimalen Lebenszykluskosten ermittelt.
- Das Life Cycle Costing kann in jedem Planungsstadium oder „Lebensabschnitt“ zur Anwendung kommen. Seine volle Wirkung entwickelt es jedoch, wenn es bereits bei den ersten strategischen und konzeptionellen Überlegungen der avisierten Massnah-

me zum Einsatz kommt. Je früher das Life Cycle Costing angewendet wird, desto grösser ist das Kosteneinsparpotenzial.

- Unklare Rahmenbedingungen (z.B. Qualitätsanforderungen) lassen Varianten mit unterschiedlichem funktionalem Nutzen zu. In solchen Fällen sind entweder die Rahmenbedingungen anzupassen, oder es ist eine weitergehende Kosten-Nutzen-Analyse durchzuführen, bei welcher auch der unterschiedliche Nutzen in der Betriebsphase berücksichtigt wird.
- Ein effektives LCC setzt Informationen und Daten in genügender Qualität voraus. Dies ist eine Organisationsaufgabe der Entscheidungsträger.

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine Grundlagenarbeit. Aus dieser Perspektive zeigt sich folgender weiterer Forschungsbedarf:

- In teilsystem- und/oder planungsstufenspezifischen LCC-Wegleitungen soll vertiefter auf die konkreten Bedürfnisse und Fragen des Anwenders eingegangen werden.
- Ein Berechnungstool könnte als Grundgerüst und Praxishilfe für den Anwender dienen.
- Ein Schwachpunkt wurde beim Umgang und bei der Quantifizierung und Interpretation von Unsicherheiten und Risiken ausgemacht. Eine Praxishilfe ist wünschenswert.



## Résumé

Le travail de recherche présente les bases pertinentes et les approches concrètes pour le calcul et l'application des coûts du cycle de vie des installations routières. Le rapport représente un manuel général sur le «life cycle costing» dans la gestion des routes.

### Principes de base de l'approche méthodique des coûts du cycle de vie

Dans le monde entier et quelle que soit la branche, il n'existe actuellement pas de définition uniforme des coûts du cycle de vie et de leur application. Il a donc fallu élaborer quelques définitions dans le cadre de ce projet. Les deux plus importantes sont les suivantes:

- Le «life cycle costing» se limite aux installations dont la fonctionnalité est donnée ou dont les exigences fonctionnelles sont définies. Lorsque cette condition est respectée, l'objectif consiste à minimiser les coûts du cycle de vie. Le «life cycle costing» se distingue ainsi des procédés généraux de planification et d'évaluation, pour lesquels la fonction et l'utilité de l'installation routière peuvent être aménagées. Dans ce cas, l'analyse coûts/bénéfices est par exemple nécessaire.
- Les types de coûts à prendre en compte sont tous les coûts des exploitants pendant la période considérée. Les coûts économiques des utilisateurs et de tiers peuvent en outre être pris en compte lors de difficultés d'exploitation, de nuisances et d'accidents provoqués par la construction, l'entretien, les défauts de qualité et les perturbations.

Phase Support de coûts	Construction	Exploitation	Déconstruction
Exploitant	Investissements initiaux	Coûts d'exploitation Coûts de réparation Coûts de maintenance	Coûts de la déconstruction et de l'élimination
Utilisateur	Les coûts des difficultés d'exploitation et des accidents causés par la construction, l'entretien, les défauts de qualité et les perturbations		
Tiers	Atteintes et préjudices à des tiers causés par la construction, l'entretien, les défauts de qualité et les perturbations		

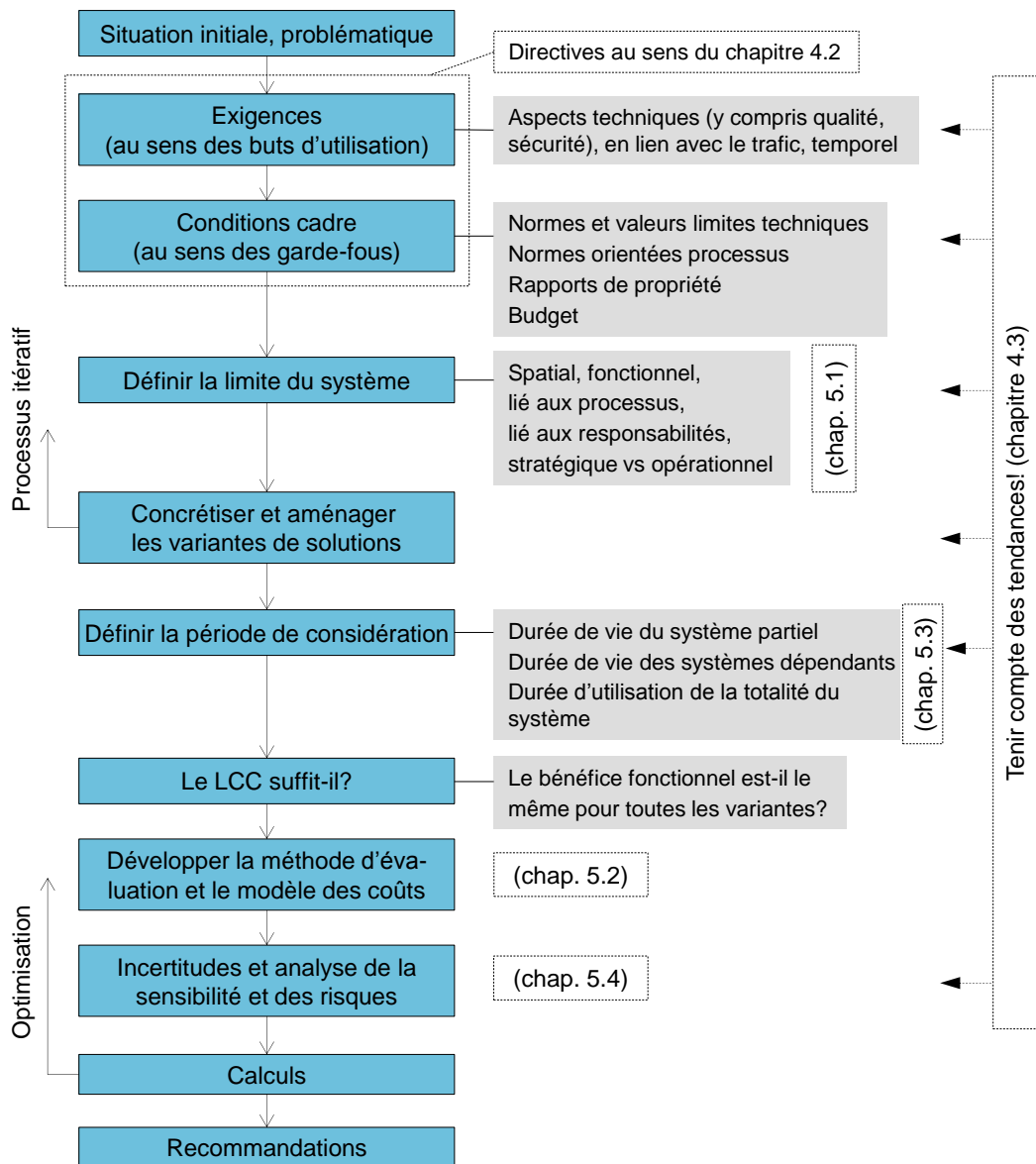
### III. 0-3: systématique sommaire des coûts du cycle de vie

Le «life cycle costing» (LCC) est la palette d'instruments à disposition pour minimiser les coûts du cycle de vie. Il ne se limite pas à une pure analyse mais constitue à la fois une tâche organisationnelle et un processus itératif. La fonction et le bénéfice sont prescrits.

#### Déroulement du processus / check-list pour l'application du «life cycle costing»

Le déroulement du processus est indépendant de la prise de décision et identique pour tous les systèmes partiels, conformément à la norme SN 640 900. La méthodologie d'évaluation spécifique, la période de considération et l'analyse des risques doivent cependant être définis en fonction de la situation.

Le schéma ci-dessous présente les différents éléments ou étapes faisant partie d'un «life cycle costing» complet. Les éléments sont intégrés à un processus de développement structurel, sur le principe du «system engineering». Dans la pratique, il est parfaitement possible que la suite des étapes du processus esquissé soit un peu différente et que le travail soit très itératif. En ce sens, les différentes étapes du schéma sont à comprendre comme une check-list permettant de ne rien oublier.



### III. 0-4: schéma pour le processus LCC; check-list

La définition des limites du système et de la période de considération ainsi que la définition des directives (objectifs d'utilisation, directives de qualité, budget, etc.) ont une influence particulière sur le résultat, tout comme la gestion des tendances, des incertitudes et des risques.

#### Conclusions et recommandations

Pour l'application du «life cycle costing» dans la gestion des routes, depuis le niveau de la commune à celui de la Confédération, les conclusions pratiques suivantes se révèlent importantes:

- Le «life cycle costing» est en mesure de contribuer dans une large mesure à la réduction des coûts. Les infrastructures routières exigeant un capital considérable, les durées d'utilisation et leur prolongation sont un aspect important.
- La stratégie de préservation de la valeur a une influence notable sur la période considérée.
- Le «life cycle costing» est une tâche organisationnelle. Dans le cadre d'un processus itératif avec limitation optimale du système, le LCC permet de déterminer la solution (stratégie de conservation, variante de construction, etc.) présentant les coûts de cycle de vie les moins importants.

- Le «life cycle costing» peut s'appliquer à tous les stades de la planification ou «tranches de vie». Cependant, lorsqu'il est déjà utilisé au moment des premières réflexions stratégiques et conceptuelles, il déploie alors ses pleins effets. Plus le «life cycle costing» est utilisé tôt et plus le potentiel d'économie de coûts est important.
- Des conditions cadre peu claires (p. ex. en regard des exigences de qualité) ouvrent la porte à des variantes aux bénéfices fonctionnels variables. Dans de tels cas, il convient d'adapter les conditions cadre ou de réaliser une analyse coûts/bénéfices plus approfondie, tenant également compte des différents bénéfices dans la phase d'exploitation.
- Un LCC efficace suppose que les informations et les données disponibles soient de qualité suffisante. Cette tâche organisationnelle est du ressort des décideurs.

Le travail présenté ici est un travail fondamental. Vu sous cet angle, un travail de recherche plus approfondi s'avère nécessaire dans les domaines suivants:

- Dans les directives LCC spécifiques aux systèmes partiels et/ou aux niveaux de planification, une attention plus poussée doit être accordée aux besoins concrets et aux questions de l'utilisateur.
- Un outil de calcul pourrait servir de structure de base et d'aide pratique pour l'utilisateur.
- Un point faible a été identifié au niveau de la quantification et de l'interprétation des incertitudes et des risques. Une aide pratique serait souhaitable à ce niveau.





## Summary

The research study presents the fundamentals as well as practical approaches for calculation and application of life cycle costs for road infrastructure. The report represents a general manual for life cycle costing in road management.

### Basics of the methodological life cycle cost approach

In a global perspective and across different industries, there is no standard definition as to what life cycle costs are and how they should be applied. Therefore, specific definitions had to be developed within the framework of this project. The two most important definitions are:

- Life cycle costing is limited to facilities with given functionality or with specified functional requirements. If this condition is met, the objective is to minimise life cycle costs. Thus, life cycle costing differs from more general planning and evaluation procedures, where functionality and benefit of the road infrastructure are adjustable – in these cases, further evaluations (e.g. a cost-benefit analysis) may be required.
- Cost types to be considered are all operators' costs within the period under consideration. In addition, the economic costs of road users and other affected parties (caused by operational handicaps, inconveniences and accidents as a result of construction or maintenance works, quality deficits and service disruptions) may be included.

Phase	Construction	Operation	Dismantling
<b>Cost subject</b>			
Operator	Initial investment	Operating costs Repair costs Maintenance costs	Costs of demolition and disposal
User	Costs of operational handicaps and accidents caused by construction or maintenance works, quality deficits and service disruptions		
Third parties	Disturbances and inconveniences suffered by other affected parties caused by construction or maintenance works, quality deficits and service disruptions		

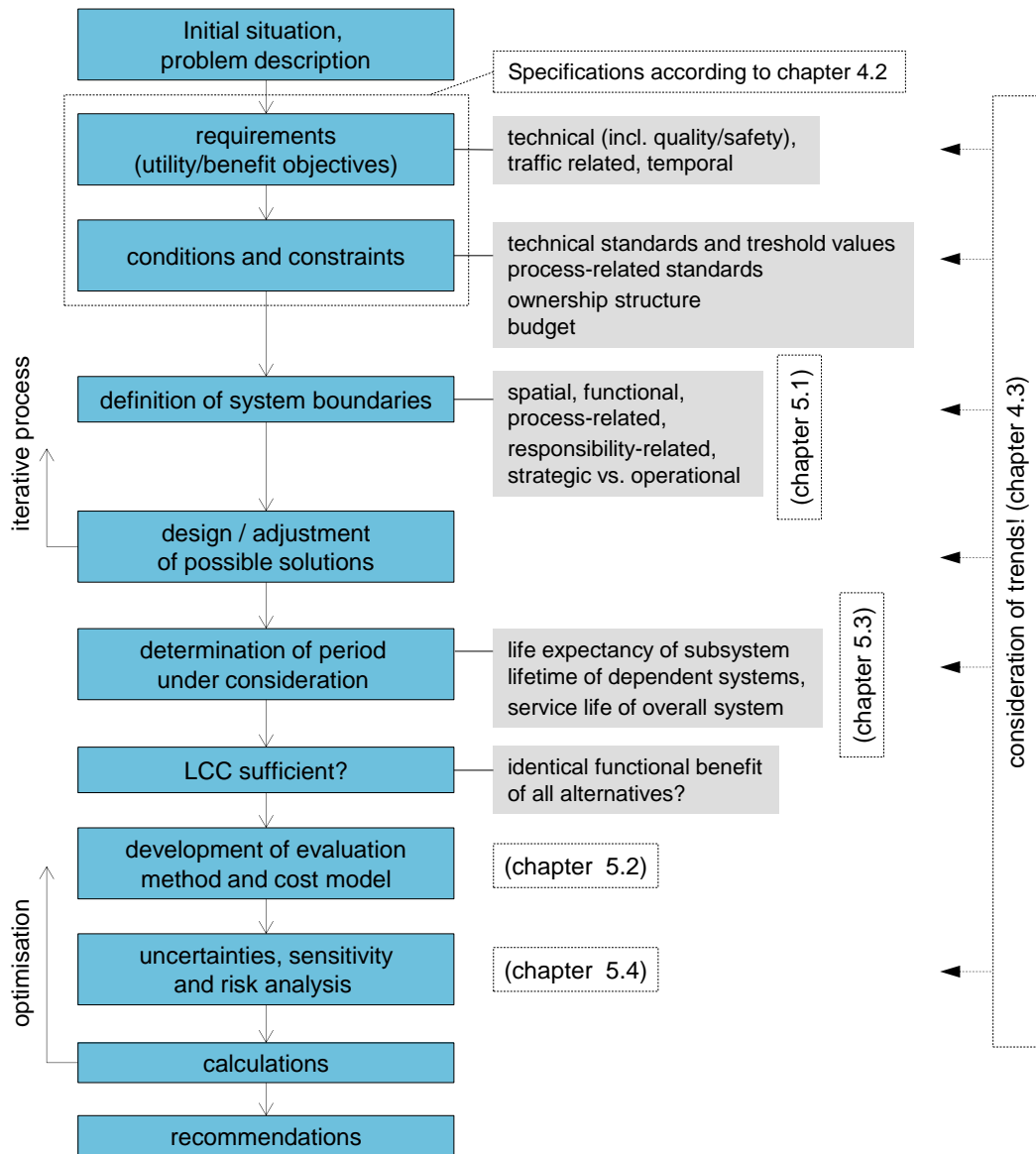
**fig. 0-5:** General structure of life cycle costs

The instrument for minimising life cycle costs is called „life cycle costing“ (for which the abbreviation LCC will be used). LCC is not to be limited to pure analysis, but it is an iterative development process. Functionality and benefit have to be predetermined.

### Process flow / checklist for the application of life cycle costing

The process flow is standardised, irrespective of the actual decision situation and the same for all sub-systems under Swiss Industrial Standard SN 640 900. The specific evaluation method, the period under consideration and the risk analysis have to be determined depending on the actual situation.

The following diagram shows the elements and steps which constitute a comprehensive life cycle costing process. Following the systems engineering approach, these elements will be incorporated in a structured development process. In practical application, the sequence of elements within this process might be changed and a strongly iterative approach might have to be adopted. Thus, the respective steps shown below serve mainly as a check list to ensure that no important elements will be forgotten.



**fig. 0-6:** Life cycle costing process, check list

The result will be influenced particularly by the definitions of the system boundaries and the period under consideration, the specifications and constraints (utilisation, quality, budget etc.) and the way of taking trends, uncertainties and risk into account.

### Conclusions and recommendations

The following practical findings are important for the application of life cycle costing in road infrastructure management, throughout from local to national level:

- Life cycle costing can contribute significantly to cost reductions. As road infrastructure is capital intensive, the length and possible extensions of its service life are important factors.
- The maintenance strategy has a substantial influence on the determination of the period under consideration.
- Life cycle costing is a creative task. In an interactive process, starting with an optimal definition of system boundaries, a solution (maintenance strategy, construction alternative, etc.) resulting in minimal life cycle costs is derived.

- Life cycle costing can be applied at any stage within the planning or operational phase. However, the best effect can be achieved when it is already applied during the first strategic and conceptional considerations concerning the planned project or measure. The earlier life cycle costing is adopted, the greater the resulting cost saving potential.
- Alternative solutions with different functional benefits may result from requirements / specifications (for example quality requirements) that have not been clearly defined. In these cases, either the specifications have to be adapted or a more extensive cost-benefit analysis should be carried out, where different benefits during the operational phase can be incorporated into the evaluation.
- An effective life cycle costing requires information and data of sufficient quality. This has to be provided by the decision-makers as an organisational task.

The document at hand is a fundamental study. Based on it, the following needs for further research have been identified:

- Specific instructions for certain subsystems and/or planning phases would more accurately meet the infrastructure managers' requirements and answer their questions.
- A calculation tool would provide a basic structure and support the user in practical application of LCC.
- A weakness has been identified in dealing, quantifying and analysing uncertainty and risk. Practical guidelines would be desirable.



# 1 Einleitung

## 1.1 Ziel der Forschung

Das Life Cycle Costing (LCC) hat in den letzten Jahren auch im Management von Strassenanlagen Einzug gehalten. Es gibt mittlerweile viele LCC-Ansätze, für unterschiedliche Zwecke sowie für die verschiedenen Teilsysteme von Strassenanlagen. Einheitliche Grundlagen für die gesamte Strassenverkehrsanlage fehlen jedoch noch.

Die Forschungsarbeit leistet einen Beitrag zur

- Definition der Grundlagen, Begriffe und Inhalte des Life Cycle Costings im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen
- Klärung des Umgangs mit den Anforderungen und Rahmenbedingungen (Gesetzgebung, Eigentumsverhältnisse, Nutzungsziele, Nutzungsintensität, RAMS, technischer Fortschritt, etc.)
- Beschreibung der Grundlagen für die LCC-Methodik einschliesslich der relevanten Kostenarten
- Klärung von Verfahrensfragen sowie zum Umgang mit Unsicherheiten und Risiken

## 1.2 Hintergrund, Ausgangslage und Abgrenzung

### 1.2.1 Ausgangslage und Begründung

Im Erhaltungsmanagement von Strassen fehlt bis heute eine einheitliche Grundlage zur Analyse und Gestaltung der Lebenszykluskosten von Erhaltungsmassnahmen. Klares Ziel ist einzig ein möglichst wirtschaftlicher Einsatz der finanziellen Mittel.

Mit der Forschungsarbeit liegen nun relevante Grundlagen und konkrete Ansätze zur Berechnung und Analyse der Lebenszykluskosten von Strassenanlagen vor. Die Betreiber von Strassenanlagen erhalten dadurch bessere Möglichkeiten zur Kostengestaltung.

### 1.2.2 Gegenstand der Forschung und Nutzen

Der Forschungsbericht stellt ein allgemeines Handbuch zum Life Cycle Costing im Strassenmanagement dar.

Die verschiedenen Ansätze, Begrifflichkeiten und Anwendungen in der Praxis des Strassenmanagements werden auf ein einheitliches Fundament gestellt. So werden auch für zukünftige Arbeiten gleiche Tatbestände einerseits gleich bezeichnet (einheitliche Sprachregelung) und andererseits auch gleich bewertet.

Im Ergebnis erhält der Manager von Strassenanlagen einen Werkzeugkasten, der ihm hilft, die im LCC-Prozess auftauchenden Fragen zu bearbeiten. Mit dem Forschungsbericht als Handbuch kann sich der Strassenmanager schnell einen Überblick über das methodische Spektrum und die Anforderungen des Life Cycle Costing verschaffen. Dadurch gewinnt der Strassenmanager Zeit und kann den Entscheidungsträgern Methodik und Resultate besser erklären.

### 1.2.3 Abgrenzung des Forschungsrahmens

Das Life Cycle Costing ist Teil des Infrastrukturmanagements im Sinne des Managements spezifischer Anlagenobjekte oder Objektportfolios. Es beschränkt sich auf Anlagen mit gegebener Funktionalität bzw. mit festgelegten funktionalen Anforderungen. Unter der Bedingung, dass die geforderte Funktionalität gewährleistet ist, besteht das Ziel darin, die Lebenszykluskosten zu minimieren. Damit grenzt sich das Life Cycle Costing von allgemeineren Planungs- und Bewertungsverfahren ab, bei denen auch Funktion und Nutzen der Strassenanlage gestaltbar sind – hier braucht es zum Beispiel die Kosten-Nutzen-Analyse, welche die (Lebenszyklus-)Kosten ins Verhältnis zum Nutzen stellt.

Bei der Forschungsarbeit handelt es sich um eine allgemeine Grundlagenstudie. Im Rahmen der Forschung ist es nicht möglich, auf spezifische Teilsysteme einer Strassenanlage im Detail einzugehen. Anhand der erarbeiteten Grundlagen können später teilsystemspezifische LCC-Wegleitungen ausgearbeitet werden.

### 1.3 Methodisches Vorgehen

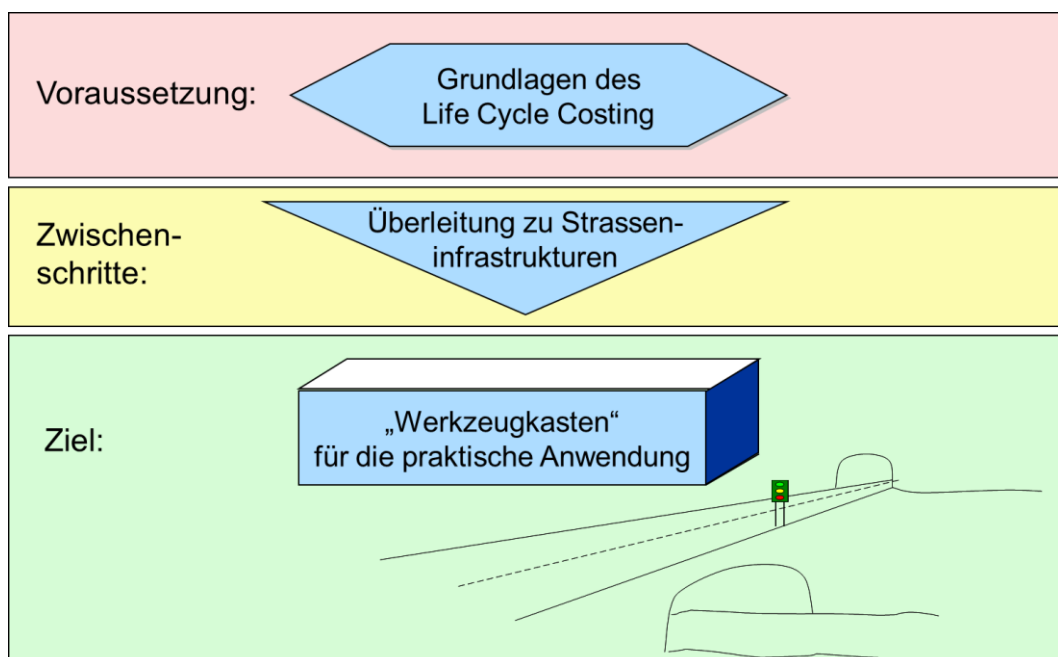
Die vorliegende Forschung ist stufenweise aufgebaut, mit dem Ziel, einerseits eine umfassende Übersicht über die Thematik der Lebenszykluskosten und ihrer Einbindung zu geben und andererseits einen einfachen praxisgerechten „Werkzeugkasten“ für die Anwendung der Lebenszykluskosten im Strassenmanagement zu schaffen. Dies erreicht die Forschung über drei Themenblöcke – siehe **Abb. 1-1**.

Block 1 (Kapitel 2) schafft die Voraussetzung zum Verständnis der Thematik Lebenszykluskosten. Die Zusammenhänge werden auf allgemeiner Ebene dargelegt. Es wird ein Überblick über die Thematik des Life Cycle Costing geschaffen, wie er sich zum heutigen Zeitpunkt für alle Bereiche der Technik, Industrie und des Bauwesens stellt. Damit wird eine Basis geschaffen, die sicherstellt, dass alle für das Strassenmanagement erforderlichen Betrachtungen gebührend berücksichtigt werden. Dabei werden die – teils erheblich unterschiedlichen – wissenschaftlichen Lehrmeinungen und Normierungen und die Einbettung des Life Cycle Costing in die Vorstellungen von Industrie, Immobilienwirtschaft und Infrastrukturen aufgezeigt. Abschliessend wird eine Vorgehensweise modelliert, die auch auf Strassenverkehrsanlagen übertragbar ist.

Block 2 (Kapitel 3 - 5) leitet schrittweise von der allgemeinen Betrachtung auf die speziellen Bedürfnisse bei der Erhaltung von Strassenverkehrsanlagen über. Er umfasst im Einzelnen:

- eine Standortbestimmung des Life Cycle Costing für Strassenanlagen (Kapitel 3)
- eine Diskussion von Rahmenbedingungen und Voraussetzungen (Kapitel 4)
- eine Übersicht über Methoden des Life Cycle Costing für Strassenanlagen (Kapitel 5)

Block 3 (Kapitel 6) stellt einen „Werkzeugkasten“ für die praktische Anwendung des Life Cycle Costing im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen vor. Dabei wird der Blick auf sämtliche Arten von Strassen gelegt: d.h. der Werkzeugkasten ist anwendbar von Quartierstrassen bis zu Hochleistungsstrassen.



**Abb. 1-1:** Aufbau des Forschungsberichts

## 2 Grundlagen zum Methodenansatz von Lebenszykluskosten

In diesem Kapitel werden die Grundlagen und das Umfeld zur Thematik Lebenszykluskosten – kurz: LZK – vorgestellt. Diese beziehen sich auf den gesamten Bereich der Technik und der Bauten. Chronologisch wurde die Thematik zuerst im industriellen Umfeld gebraucht und eingesetzt. Später folgten der Immobilienbereich und die Infrastrukturen.

Entsprechend stützen sich die Grundlagen in diesem Kapitel primär auf die Erkenntnisse, Ableitungen und Entwicklungen aus dem industriellen Umfeld. Sie spiegeln im Wesentlichen den Stand von Wissen, Forschung und Technik wider. Dabei spielen die aus dem Wettbewerbsdruck abgeleiteten Bedürfnisse der Privatwirtschaft eine zentrale Rolle. Die hier dargelegten Erkenntnisse werden im folgenden Hauptkapitel 3 auf die Bedürfnisse des Strassenmanagements – und dort insbesondere der Erhaltung – übertragen.

Die hier vorgelegten Grundlagen basieren insbesondere auf:

- eigenen – mehrheitlich bisher unveröffentlichten – Arbeiten der Autoren während der vergangenen vierzig Jahre
- weiteren den Autoren der vorliegenden Studie bekannten, öffentlich zugänglichen wie auch nicht öffentlich zugänglichen Informationen
- von den Mitgliedern der Begleitkommission zur Verfügung gestellten Informationen
- aktuellen und sich in Arbeit befindlichen internationalen Normen (CEN, ISO, GEFMA, PAS 55 etc.)
- Ergebnissen nationaler und internationaler Forschungsprojekte
- Literaturstudium
- Internetrecherchen.

Für die Lebenszykluskosten (LZK) ist auch im deutschen Sprachraum der englische Begriff „Life Cycle Cost“ – abgekürzt LCC – verbreitet. Mit „LCC“ wird ebenfalls der Begriff „Life Cycle Costing“ abgekürzt. Um Missverständnisse zu vermeiden, wird im vorliegenden Bericht der Begriff Lebenszykluskosten – abgekürzt LZK – verwendet. Die Abkürzung LCC bleibt dem Life Cycle Costing vorbehalten. Ausnahmen hiervon bilden Literaturhinweise und Interpretationen. Dort wird die Begriffsdefinition jeweils vermerkt.

Kapitel 2 ist wie folgt aufgebaut:

- Kapitel 2.1 befasst sich mit Definition und Inhalt des Begriffs Lebenszykluskosten. Zu unterscheiden davon ist das Life Cycle Costing, dessen Ziele und Nutzen in Kapitel 2.2 thematisiert werden.
- In Kapitel 2.3 wird ein Überblick über die historischen Grundlagen des LCC und die Einbettung in übergeordnete Managementprozesse gegeben.
- Danach folgt in Kapitel 2.4 eine Übersicht über die laufenden Standardisierungsbemühungen.
- Kapitel 2.5 sodann erarbeitet für verschiedene Aspekte des LCC die methodischen Grundlagen, auf welchen die strassenmanagementspezifische LCC-Methodik aufgebaut werden kann.
- In Kapitel 2.6 wird ein allgemeingültiges sechsstufiges Modell zur Anwendung des LCC präsentiert, bevor in Kapitel 2.7 abschliessende Folgerungen aus dem Kapitel 2 gezogen werden.

## 2.1 Was sind Lebenszykluskosten – LZK ?

Lebenszykluskosten (LZK) bezeichnen den bewerteten Ressourcenverzehr zur Initiierung, Planung, Realisierung, zum Betrieb und zur Erhaltung und zur Stilllegung eines definierten Objektes bzw. Systems. Sie sind Objekt abhängig und umfassen diejenigen Kosten, die bei einem Objekt allein auf der Grundlage seines „SEINS“ entstehen und dem damit in Zusammenhang stehenden Einsatz für einen definierten Wertschöpfungsprozess.

Allgemein ist unter Lebenszykluskosten die Summe sämtlicher Kosten zu verstehen, die für dieses Objekt während der Entstehung bis zum Rückbau auflaufen. Dabei gibt es für die Begrenzungen „Entstehung“ und „Rückbau“ zahlreiche Interpretationen; von „Von der Wiege bis zur Bahre“ bis zu „Von der Zeugung bis zur Grabbpflege“. Ebenso kontrovers werden teilweise die Kosteninhalte diskutiert. Darauf wird in den folgenden Kapiteln eingegangen, um eine für das Strassenmanagement sinnvolle Interpretation definieren zu können.

Grundsätzlich setzen sich die Lebenszykluskosten aus vier Hauptkostengruppen zusammen:

- Kosten für die Entwicklung (Strategischer Entwurf, Konzept, Konstruktion, Planung, Design etc.)
- Kosten für Beschaffung und Inbetriebnahme (Ausschreibung, Bau bzw. Herstellung bzw. Zukauf, Projektabwicklung, Montage, Inbetriebsetzung, Schulung, Dokumente etc.)
- Kosten für die Nutzung (Betriebsführung, Verfügbarkeit, Energie, Instandhaltung, Emissionen und Abfälle, Controlling etc.)
- Kosten für die Ausserbetriebnahme (Ausserbetriebsetzung, Demontage bzw. Rückbau, Abtransport, Entsorgung bzw. Recycling etc.)

Für Umfang, Inhalt und Abgrenzung der vier Hauptkostengruppen gibt es in der einschlägigen in- und ausländischen Literatur eine Vielzahl unterschiedlicher Zuordnungen. Ziel dieser Forschung ist es unter anderem, eine für das Schweizerische Strassenmanagement geeignete Form zu determinieren.

Entscheidend ist der Betrachtungszeitraum zwischen den beiden Ereignispunkten: Inbetriebnahme und Ausserbetriebnahme, beziehungsweise zwischen dem operativen Beginn der Baumassnahmen an Objekten unter Betrieb. Er wird allgemein noch mit „Lebensdauer“ bezeichnet, abgeleitet von der technisch bedingten Einsatzdauer. Immer häufiger wird heute der Begriff „Nutzungsdauer“ verwendet, da sich die Erkenntnis durchsetzt, dass die Objekte selten bis zu ihrem „physischen Lebensende“ genutzt werden.

Bei einer Vielzahl von Objekten, dazu gehören auch die Strassen und die grossen Kunstbauten, folgt nach einer bestimmten Nutzungsphase kein Rückbau, sondern eine Erneuerung, Revision, ein Umbau oder eine sonstige das Objekt erhaltende Massnahme. Diese Fälle erfordern eine spezielle Definition des Betrachtungszeitraums. Die Diskussion möglicher und sinnvoller Betrachtungszeiträume erfolgt ebenfalls in späteren Kapiteln.

## 2.2 Grundlagen des Life Cycle Costing

Für das Instrumentarium zur Berechnung der Lebenszykluskosten wird meist der englische Ausdruck Life Cycle Costing (LCC) verwendet. Es handelt sich um eine am Lebenszyklus orientierte Kostenrechnung.

Das Verfahren bewertet die Kosten- und Zahlungsströme von Investitionsalternativen über deren Nutzungsdauer. Der Bewertungszeitraum beginnt mit der Konzeptphase einer Neu- oder Ersatzinvestition und schliesst sämtliche objektorientierten Kosten bis und mit dem Rückbau ein. Bei Investitionsgütern mit unbegrenzter Nutzungsdauer wie Strassen- oder Kanalanlagen, Seehäfen und ähnlichen endet ein Betrachtungszeitraum gewöhnlich



mit dem Zeitpunkt der Erneuerung, Erweiterung oder Generalrevision. Die Methode zielt durch die Betrachtung zukünftiger Zahlungsströme auf eine Identifikation von Austauschbeziehungen (Trade-offs) ab.

### 2.2.1 Ziele des Life Cycle Costing

Das Life Cycle Costing (LCC) erstellt eine ganzheitliche „Lebenslauf-Erfolgsrechnung“ unter Berücksichtigung technischer und organisatorischer Parameter. Dabei sind sowohl eine reaktive wie auch eine konstruktive Ausrichtung zulässig.

Der Ansatz einer permanenten lebenszyklusübergreifenden Erfolgsrechnung ermöglicht Voraussagen über die ökonomischen Auswirkungen technischer bzw. baulicher und organisatorischer Massnahmen.

Primär besteht das Bedürfnis, die Gesamtkosten zu erkennen, die ein bestimmtes Objekt tatsächlich generiert. Durch diese Erkenntnisse ergeben sich Vergleichsmöglichkeiten zwischen verschiedenen Objekten und Systemen und die Grundlage für Verbesserungen.

Ein wesentliches Ziel des LCC ist die Beeinflussung von Folgekosten und wiederkehrenden Kosten während der Betriebs- und Nutzungsphase unter Berücksichtigung der Kosten-Nutzen-Abwägung (trade-off) zwischen Investitionsaufwendungen und Folgekosten. So können geringere Folgekosten durchaus höhere Investitionen rechtfertigen. Zum Beispiel wenn sich bei der Strasseninfrastruktur mit teureren Materialien längere Nutzungsdauern und geringere bauliche und/oder betrieblichen Unterhaltsaufwendungen realisieren lassen.

Wübbenhorst [1] definiert bereits 1984 vier aufeinander aufbauende Teilziele einer LCC gerechten Analyse und Betrachtung:

- Abbildung der Kostenelemente – basierend vor allem auf vergangenheitsorientierten Daten.
- Erklärung der Zusammenhänge der Kostenentstehung – indem die Kostentreiber bzw. die Kosten verursachenden Elemente mit Hilfe von Kostenstrukturen hinsichtlich der einzelnen Phasen des Lebenszyklus kategorisiert werden.
- Prognose des Entstehungszeitpunktes und der erwarteten Höhe der Kosten – mit Hilfe entsprechender Schätz- und Prognosemodelle.
- Gestaltung der Kosten.

Der Schwerpunkt der Aktivitäten im LCC liegt eindeutig in der aktiven, präventiven und zielorientierten Kostengestaltung. Die reaktiven Elemente der LZK-Analyse dienen dazu unterstützend.

Damit ist das Life Cycle Costing eine Gestaltungsgrundlage für ein lebenszyklusbezogenes Wertmanagement. Im vorliegenden Zusammenhang wird vom Lebenszyklusmanagement (englisch: Life Cycle Management – LCM) gesprochen. Im Life Cycle Management sind sämtliche Funktionen zusammengefasst, die einen kostenbewussten und nachhaltigen Einsatz von Objekten über deren gesamte Nutzungsdauer gewährleisten: Analyse, Gestaltung und Entwicklung, Engineering, Einsatzstrategie, Erhaltung, Bewirtschaftung und Steuerung. Die Elemente des Life Cycle Management werden im Kapitel 2.3.7 aufgezeigt.

Entsprechend wurde das LCC entwickelt, um alles, was sich auf die Zielerreichung in Form der „**Optimierung der Kostenstrukturen**“ auswirken kann, integrativ zu erfassen.

Die operative Umsetzung des Life Cycle Costing in Planung, Konstruktion und Projektierung wird als Life Cycle Engineering (LCE) bezeichnet.

## 2.2.2 Strategie mit Life Cycle Costing

Wertorientiertes Management beschäftigt sich heute mit dem gesamten Lebenszyklus der Objekte und Systeme, von der Planung über die Herstellung bis zur Nutzung oder zu Umnutzungsalternativen.

Die Lebenszykluskosten stellen dabei die zu beachtende Kenngrösse dar, die mit den Methoden des Life Cycle Costing beeinflusst werden. Das Ziel sind dabei möglichst tiefe LZK unter Einhaltung aller geforderten Parameter wie Qualität, Sicherheit usw. Grundlage zur Zielerreichung sind in der Regel komplexe Optimierungsvorgänge zwischen den Kosten und den geforderten Parametern. Betroffen sind vor allem die Anlageneffektivität, Werterhaltungsvorstellungen, die Erhaltungsstrategie, Instandhaltungsmassnahmen, Nutzungsdauern und Umnutzungsalternativen.

Daraus leitet sich eine Strategie ab, in der das Life Cycle Costing die massgebliche Controllingfunktion darstellt und der Objektgestaltung = Life Cycle Engineering als Grundlage dient. Die Strategie geht von einer eindeutigen Zieldefinition mit messbaren Grössen unter bekannten Rahmenbedingungen aus. Danach werden die investitions- und instandhaltungsrelevanten Fakten wie Nutzungsdauern, Erhaltungsstrategie und Qualitätsfaktoren erfasst, bewertet und optimiert. Daraus leiten sich die Lebenszykluskosten ab.

Die Kostenrechnung des Life Cycle Costing stellt dafür verschiedene Modelle nach unterschiedlichen Philosophien zur Verfügung, die sich den individuellen Bedürfnissen anpassen lassen. Es entsteht eine transparente Basis, aus der sich alle projektrelevanten Entscheidungen wie Umsetzungszeitpunkt, Liquiditätsplanung, Projektdauer und Ausschreibungsunterlagen festlegen lassen. Nach Entscheid, Erstellung und Inbetriebsetzung des Objektes wird in die Bewirtschaftungsphase übergeleitet.

In Kapitel 2.6 wird ein mehrstufig angelegtes Modell des Life Cycle Engineering auf der Grundlage dieser Strategie aufgezeigt.

## 2.2.3 Nutzen des Life Cycle Costing

Die Berechnung der Lebenszykluskosten sichert Kostenwahrheit und Kostenvollständigkeit. Sie ermöglicht:

- Transparenz der zu erwartenden Gesamtkosten eines Objektes über dessen gesamte Nutzungszeit
- Offenlegung der grössten Kostentreiber innerhalb eines Objektes
- Rationale Vergleichsbasis zwischen alternativen Technologien, Prozessen und/oder Systemen
- Plan- / Ist-Kostenvergleiche

Für die Besitzer und Betreiber resultieren zahlreiche Vorteile. Die Ausnutzung der Optimierungsmöglichkeiten führt – zumindest im Maschinen- und Anlagenbau sowie bei Immobilien (**Abb. 2-31**) – in der Regel zu einer markanten Reduktion der gesamten Lebenszykluskosten sowie über einen vordefinierbaren Zeitraum zu einer planbaren Verfügbarkeit. Für das Erhaltungsmanagement resultieren zuverlässige Entscheidungsgrundlagen über die gesamte Nutzungsdauer mit Markierung der geeigneten Zeitpunkte für

(Re-)Investitionen, Ersatz und Erneuerungen.

Das ermöglicht den Planungs- und Controllinginstanzen ...

- die Instandhaltungskosten bereits während der Planungs- und Angebotsphase dauerhaft zu planen
- die Koordination von Instandhaltungsmassnahmen während der Nutzungsdauer
- eine langfristige zuverlässige Budgetierung
- solide Controllingprozesse der Substanzerhaltung
- Festschreibung der Kosten für die Ausserbetriebnahmen nach einer vordefinierten Nutzungsdauer

## 2.2.4 Zusammenfassung Life Cycle Costing

Life Cycle Costing ist eine Kostenrechnungsart im Rahmen des Life Cycle Management. Es dient als Grundlage zur Gestaltung der Objekte – im vorliegenden Fall: Strassenverkehrsanlagen – mit dem Ziel, minimale Lebenszykluskosten im Rahmen vorgegebener Leistungs- und Qualitätsparameter zu ermöglichen.

## 2.3 Herleitung und Entwicklung

Das vorliegende Kapitel vermittelt einen Überblick über die historischen, fachtechnischen und wirtschaftlichen Grundlagen des Life Cycle Costing und dessen Hintergründe. Dabei wird auch die Einbindung des LCC in integrale Managementformen und die Bedeutung der Lebenszykluskosten innerhalb der Wertschöpfungskette beleuchtet.

Auf Grund der Tatsache, dass das LCC im Strassenmanagement in dieser Form noch in Entwicklung begriffen ist, werden die Fakten vor allem im Zusammenhang mit anderen Bereichen der Technik aufgezeigt und diskutiert, insbesondere der Produktion von Wirtschaftsgütern.

### 2.3.1 Quellenlage

Zum Thema Life Cycle Costing ist seit Ende des zwanzigsten Jahrhunderts eine Vielzahl von Veröffentlichungen, Anleitungen, Empfehlungen und Normen in verschiedenen Sprachen erschienen. Als eines der Grundlagenwerke wird allgemein C. Zehbold, Lebenszykluskostenrechnung (1996) [2] angesehen.

Die Fülle der Quellen erweist sich als ausgesprochen heterogen, mit sich häufig widersprechenden und teils gegenläufigen Aussagen. Der Grund liegt darin, dass die Lebenszykluskostenrechnungen häufig aus der Optik individueller Bedürfnisse angesehen werden. Die Grundlagen dieser Modelle entspringen sehr unterschiedlichen Bedürfnissen und Optiken: branchenabhängig, unternehmenspolitisch, produktbezogen, volkswirtschaftlich, marktabhängig, national / regional usw. Eine Standardisierung dieser Überlegungen ist bisher nicht erfolgt. Ein erster Ansatz ist im Kapitel 2.4.3 beschrieben. Ein weiterer Ansatz dürfte sich aus der kommenden Norm ISO 55000 „Asset Management“ heraus ableiten, auf die noch näher eingegangen wird. Die fehlende Standardisierung erschwert selbst für Fachleute die Orientierung in dieser Materie und überfordert die praktischen Anwender.

In der vorliegenden Forschung wird deshalb versucht

- im vorliegenden Hauptkapitel 2 den wesentlichen Kern des Life Cycle Costing heraus zu kristallisieren und
- in den folgenden Hauptkapiteln einen „roten Faden“ zur Anwendung im Strassenmanagement zu legen.

Die Autoren stützen sich hierbei weitgehend auf die eigenen Erfahrungen mit der Materie seit den 1970er Jahren.

### 2.3.2 Historie

Für das strategieorientierte Kostenmanagement sind heute vor allem zwei im angelsächsischen Sprachraum entwickelte Begriffe geläufig: Life Cycle Costing – LCC und Total Cost of Ownership – TCO. Beide Begriffe werden teils synonym, teils überlagernd, teils ergänzend verwendet. Im Kapitel 2.4.1 wird auf die Verwendung der Begriffe näher eingegangen.

Life Cycle Costing ist der weiter verbreitete Begriff. Total Cost of Ownership lässt sich dagegen bereits im „Manual of the American Railway Association“ von 1929 nachweisen. „Wieder entdeckt“ und verbreitet wurde TCO vor allem in den 1970er Jahren durch das amerikanische IT-Unternehmen UNIVAC. In der Folge wurde der Begriff TCO vor allem in der IT-Welt verbreitet.

Unabhängig davon entstand in vielen Bereichen schon früh das Bedürfnis nach Kostenstrukturen, die den gesamten Lebensweg von Gütern und Produkten erfassen. Historisch belegt ist, dass bereits Napoleon seinen Ingenieuren die Auflage machte, seine Kanonen nach ganzheitlichen Kriterien für Bau, Transport, Unterhalt und Nutzungsdauer auszulegen.

G. Goodall [3] legt in einer im März 2008 in der Zeitschrift *Processor* publizierten Recherche mehrere bekannte Anwendungen des Life Cycle Costing zwischen den 1930er und 1980er dar. Sie beziehen sich vor allem auf militärische und industrielle Anwendungen.

Im deutschen Sprachraum sind die Überlegungen und methodischen Ansätze des Life Cycle Costing ebenfalls mindestens seit den 1970er Jahren bekannt. Der Mitautor der vorliegenden Forschung J. Albrecht hat diese Prinzipien erstmals bei einer Fabrikplanung 1971 [4] angewendet und in der Folge stetig weiter entwickelt.

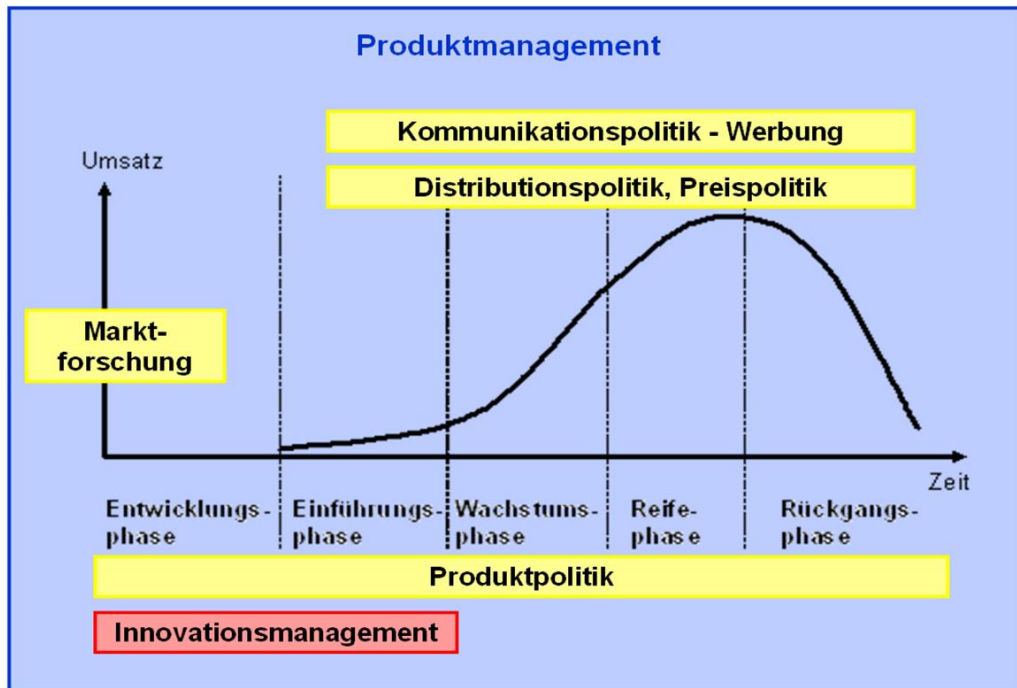
Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass sich das LCC ausgehend von militärischen und industriellen Bedürfnissen über das Immobilienmanagement / Facility Management und infrastrukturelle Anforderungen entwickelt hat. Die Bedürfnisse für das Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen sind dabei jüngerer Datums.

### 2.3.3 Entwicklungen

Aus der geschichtlichen Entwicklung der Lebenszykluskostenrechnung lässt sich erkennen, dass ursprünglich Bedürfnisse der Produktentwicklung und der militärischen Strategie im Vordergrund standen. Die Betrachtungen konzentrierten sich auf den Lebenszyklus von Produkten. Ein Bedürfnis, das sich vor allem nach dem zweiten Weltkrieg in der Konsumgüterindustrie rasant entwickelte. Immer neue Produktkreationen lösten die Vorgängergenerationen in immer kürzerer Folge ab. Ein Vorgang, der sich bis heute ungebrochen fortsetzt.

Um die Produkt- und Marktaktivitäten von der Entwicklung bis zum Service nach dem Verkauf möglichst verlustarm zu gestalten, war und ist es erforderlich, den Lebenszyklus im Markt eines neuen Produktes möglichst genau zu erfassen]. Besondere Bedeutung haben diese Überlegungen naturgemäss in Industriezweigen, die produktbezogen hohe Investitionen tätigen müssen. Das betrifft in besonderem Masse die Textil-, Kommunikations- und Automobilindustrie und deren Zulieferbetriebe. Ständig wechselnde Modelle mit unterschiedlichen Designformen, höheren Leistungen und technischen Weiterentwicklungen verursachen hohe Investitionen, die häufig im Laufe einer Modellgeneration abgeschrieben werden müssen.

Aus diesen Gesichtspunkten heraus entwickelte sich ein „Product Life Cycle Management“. Dessen Ziel war und ist es, die Summe aller Kosten die innerhalb einer Produktgeneration entstehen, abzuschätzen und auf das einzelne Produkt umzulegen – Kapitel 2.3.6. **Abb. 2-1** zeigt diese typische Absatzentwicklung von Produkten zwischen ihrer Entwicklung und dem „End of Market“.



**Abb. 2-1:** Produktlebenszyklus – Der Marktzyklus von Produkten bildet die Grundlage für die Bereitstellung der Ressourcen und deren Investition (Quelle: Maria Tagwerker-Sturm, Produktmanagement)

Investitionsgüter aller Art – inkl. Infrastrukturanlagen wie zum Beispiel Strassen – unterscheiden sich in ihren Anforderungen vom Lebenszyklus einer Produktlinie. Während das „Product Life Cycle Management“ von der Lebensdauer eines Produktes im Markt ausgeht, sind Investitionsgüter einem Wertschöpfungsprozess verpflichtet.

Die Lebenszyklusbetrachtung von Investitionsgütern (Objekten) hat erst in den letzten Jahren verbreitet Eintritt in die Fachwelt gefunden, verbunden mit einer Vielzahl von Publikationen die von ganz unterschiedlicher Betrachtung und Bewertung der Materie ausgingen. Das hat zu häufigen Widersprüchen und Fehlinterpretationen auch in der wissenschaftlichen Literatur geführt. Die Folge ist auch ein fließender Übergang der Interpretation des Life Cycle Costing zwischen Produktzyklen und Investitionsgütern. Der Begriff „Product Life Cycle Management“ wird sehr unterschiedlich verwendet, was eine klare Zuordnung erschwert.

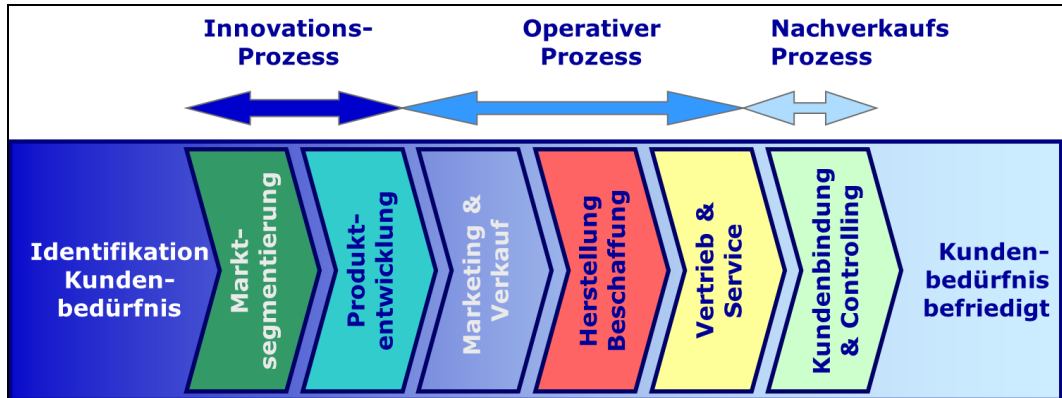
Es ist nicht Ziel und Thema dieser Forschung, diese Problemstellung zu analysieren und zu lösen. Im Sinne des eigentlichen Zieles, einen übersichtlichen „Werkzeugkasten für das praktische Erhaltungsmanagement“ von Strassenverkehrsanlagen zu erstellen, ist es für die Anwender jedoch hilfreich, mit eindeutigen und unverwechselbaren Begriffen zu operieren. Kapitel 2.3.6 zeigt die elementaren Unterschiede zwischen dem Life Cycle Management von Produktlinien (Product Life Cycle Management – PLCM) und Investitionsgütern auf. (Standardmässig wird beim Management von Investitionsgütern vom Asset Life Cycle Management – ALM gesprochen. Im Kapitel 2.3.6 werden zur Unterscheidung dagegen die Begriffe Produkt Lebenszykluskosten und Objekt Lebenszykluskosten empfohlen.). Kapitel 2.4 vergleicht und diskutiert verschiedene Verfahren und Modelle.

### 2.3.4 Ressourcen der Wertschöpfungskette

Sachanlagen sind Investitionsgüter. Dazu zählen sämtliche technischen und baulichen Anlagen, unabhängig von ihrer Art oder Nutzung. Im infrastrukturellen Bereich gehören dazu die Strassenverkehrsanlagen mit all ihren Teilsystemen – siehe Kapitel 3.1.1.

Sämtliche Sachanlagen dienen einem Wertschöpfungsprozess – **Abb. 2-2**. Für Herstellungsprozesse wie beispielsweise das Backen von Brot oder die Herstellung von Autos

ist dies einfach nachvollziehbar. Das gleiche gilt aber auch für abstrakte Leistungen. Ein Schulgebäude dient dem Prozess des Lernens, ein Nachrichtensatellit dem Prozess der Kommunikation, ein Bergwerk dem Prozess der Rohstoffgewinnung usw.

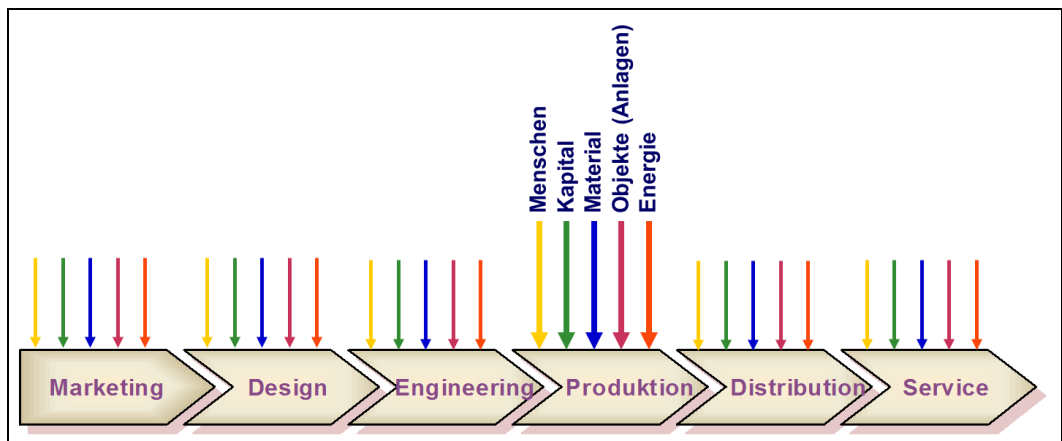


**Abb. 2-2:** Klassischer Wertschöpfungsprozess industrieller Produkte

### Wertschöpfungsprozesse

Für alle Wertschöpfungsprozesse gilt, dass sich die einzelnen Glieder der Wertschöpfungskette nur mit Hilfe bestimmter Ressourcen realisieren lassen (vgl. **Abb. 2-3**). Zu den Ressourcen gehören:

- Menschen mit ihren geistigen und handwerklichen Fähigkeiten sowie den aus Daten abgeleiteten Informationen,
- Kapital, das den Prozessverantwortlichen zur Verfügung gestellt wird,
- Materialien zur Be- und Verarbeitung inkl. Werkzeuge und Hilfsstoffe,
- Technische und/oder bauliche Sachanlagen als „Produktionsmittel“,
- Energie zur Generierung des Arbeitsfortschrittes – häufig in direkter Verbindung mit den „Produktionsmitteln“.



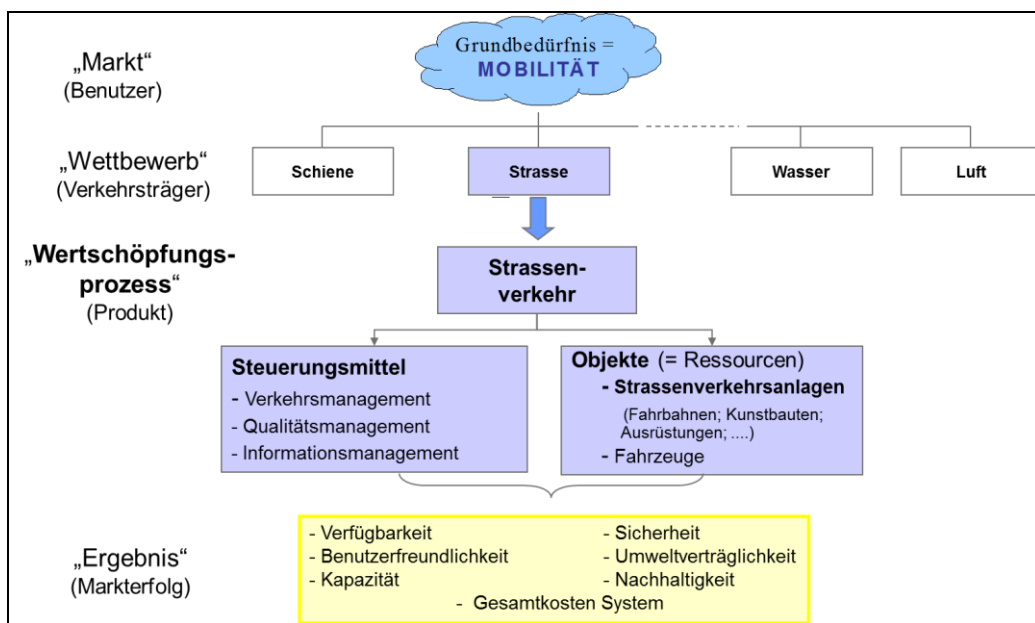
**Abb. 2-3:** Ressourcenbedarf bei den einzelnen Gliedern der Wertschöpfungskette – die dabei investierten Objekte unterliegen der Betrachtung der Lebenszykluskosten (Quelle: J.E. Albrecht AG)

### Ressourcenmanagement

Dementsprechend sind technische und bauliche Sachanlagen Ressourcen zur Realisierung eines Wertschöpfungsprozesses. Sie sind Teil des Ressourcenmanagement. Im unternehmerischen Ablauf sind sie an die Unternehmensstrategie gebunden und folgen entsprechend ähnlichen Gesetzmässigkeiten wie das Personalmanagement oder das Beschaffungsmanagement. Sinn des Ressourcenmanagement ist es, dem Wertschöpfungsprozess die bestgeeigneten Ressourcen in der erforderlichen Qualität zum richtigen Zeitpunkt, ausreichend und möglichst ausfallfrei zur Verfügung zu stellen.

Weder bei der Personalauswahl, noch bei Lieferverträgen von Materialien und Energie oder der Investition teurer Sachanlagen kann von einem Prinzip des „hire and fire“ ausgegangen werden. Es muss in längeren Zeiträumen gedacht und geplant werden. Teils über viele Jahrzehnte, wie auch bei den Strassenverkehrsanlagen. Das setzt voraus, dass ausgehend von der Unternehmensstrategie die Auswirkungen in langen Zeiträumen zu bedenken sind. Für die Ressourcen der Finanzen, des Personals oder des Materials bestehen dazu seit langem die nötigen Strukturen, Abläufe und Werkzeuge. Für das wertschöpfungsgerechte Managen der Sachanlagen sind diese Prinzipien relativ neu (vgl. Kap.2.3.1). Hierfür entsteht seit den 1990er Jahren eine eigene Managementdisziplin: das „Asset Management“ bzw. „Objektmanagement“ – siehe Kap.2.3.8.

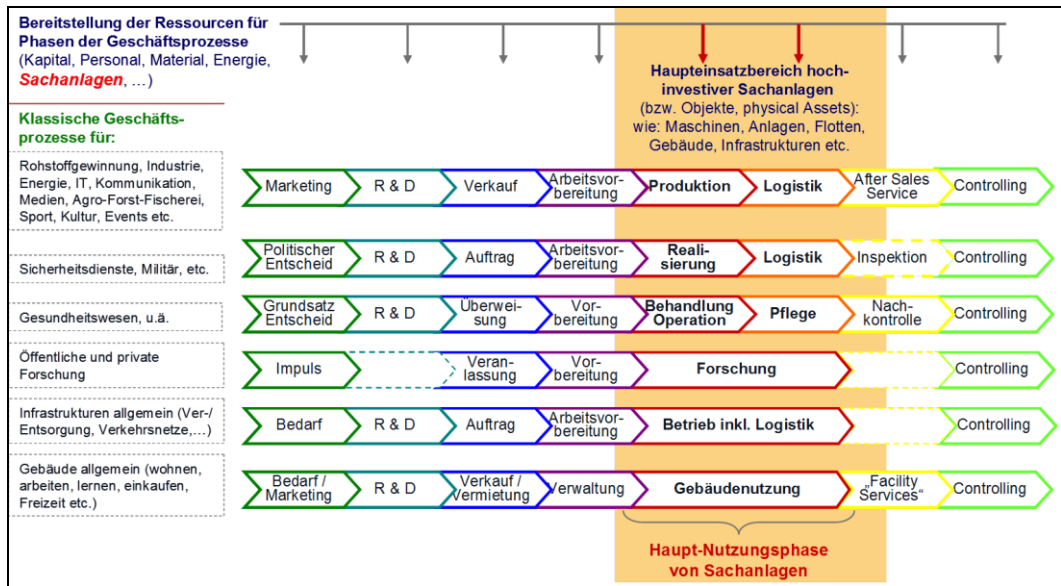
Strassenverkehrsanlagen bilden Ressourcen zum Wertschöpfungsprozess des Strassenverkehrs, der sich wiederum vom Grundbedürfnis der Mobilität ableitet. Aus **Abb. 2-4** ist erkennbar, dass das Grundbedürfnis der Mobilität mittels verschiedener konkurrierender Verkehrsträger befriedigt werden kann. Der Kunde wählt für sich den oder die geeigneten aus.



**Abb. 2-4:** Der Wertschöpfungsprozess und die dafür erforderlichen Ressourcen des Strassenmanagement (Quelle: J.E. Albrecht AG)

Die Strasse ist einer dieser Verkehrsträger. Die für den Strassenverkehr verantwortlichen Entscheidungsträger sollten den „Strassenverkehr“ als Wertschöpfungsprozess definieren. Als Entscheidungsträger im öffentlichen Raum ist hierfür die Exekutive zu verstehen. Dieser Prozess vollzieht sich auf Grund diverser Steuerungsmittel und den massgeblichen Ressourcen: Strassenverkehrsanlage und Fahrzeuge.

**Abb. 2-5** stellt vergleichend Wertschöpfungsprozesse bedeutender öffentlicher und privatwirtschaftlicher Bereiche gegenüber. Abgesehen von kleineren Abweichungen zeigt sich, dass alle Wertschöpfungsprozesse einer gemeinsamen Grundlogik folgen. Das gilt ebenso für den Prozess des Strassenverkehrs. Gemeinsam ist allen Prozessen, dass sie über Glieder in der Wertschöpfungskette verfügen, in der die „Ressource Sachanlage“ eine dominierende Rolle spielt. Es sind die kapitalintensivsten Glieder der Wertschöpfungskette und entsprechend bedeutsam für das Life Cycle Management.



**Abb. 2-5:** Vergleich bedeutender Wertschöpfungsprozesse. In allen ist ein für die LZK-Betrachtung wichtiger Bereich hochinvestiver Sachanlagen erkennbar (Quelle: ALM GmbH)

Aus dem einheitlichen Ursache-Wirkung-Prinzip folgt, dass für die Planung, Bereitstellung und Bewirtschaftung aller Sachanlagen ähnliche Geschäftsprozesse Anwendung finden. Das wirkt sich auf deren Lebenszykluskosten aus. Das Life Cycle Costing folgt somit für alle Investitionsgüter ähnlichen Grundprinzipien. Eine Tatsache, die sich mit den aus verschiedensten Branchen und Geschäftsbereichen gesammelten praktischen Erfahrungen der Autoren deckt.

### 2.3.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im Rahmen des Life Cycle Costing

Die Betrachtung der Lebenszykluskosten spielt sich grundsätzlich auf einer elementaren und einer gestaltenden Ebene ab.

Auf der elementaren Ebene werden sämtliche Kosten, die während der Lebens- bzw. Nutzungsphase des Objektes anfallen und mit diesem in ursächlichem Zusammenhang stehen, erfasst. Es handelt sich um ein rein additives Verfahren, welches das Objekt zunächst wie eine Kostenstelle behandelt, noch nicht wie einen Kostenträger. Rückblickend werden sämtliche Kosten summiert, vorausschauend abgeschätzt. Die dabei massgeblichen Kostenarten sind fallweise festzulegen. Als Ergebnis resultiert eine rein beschreibende Zahl. Sie besitzt keine Wertigkeit. Um diese zu erlangen sind Vergleichsgrößen erforderlich. Wünschenswert ist ein Basiswert (zum Beispiel der Ist-Zustand) dem gegenüber sich Veränderungen pegelartig ablesen lassen.

Die gestaltende Ebene versucht die Lebenszykluskosten zu minimieren. Im Sinne eines kreativen Prozesses. Dieser verlangt ein kontinuierliches „trade-off“ zwischen verschiedensten Parametern, vor allem zwischen Qualität und Kosten. Dabei gelten fixe Rahmenbedingungen als vorausgesetzt. Darunter fallen unter anderem rechtliche, normative, politische, unternehmerische, soziale, ökologische, marktorientierte, sicherheitsrelevante und qualitative Kriterien. Der „trade-off“ verläuft innerhalb dieser Rahmenbedingungen. Allerdings kann das Resultat auch die Rahmenbedingungen in der einen oder anderen Weise in Frage stellen und so zu einer Neudefinition führen.

Gesucht wird demgemäss die wirtschaftlichste Lösung über einen definierten Betrachtungszeitraum. In diesem Sinne gehören Lebenszykluskostenrechnungen zum Sammelbegriff der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für Investitionsentscheide (Investitionsrechnung).



Während die traditionellen Investitionsrechnungsverfahren sowohl der statischen wie dynamischen Einzelrechnungsverfahren, wie auch den Entscheidungsverfahren für Investitionsprogramme primär vergleichend angelegt sind, handelt es sich beim Life Cycle Costing um ein gestaltendes Verfahren. Dabei werden in einem kontinuierlichen Prozess die Lebenszykluskosten eines an sich bekannten Investitionsobjektes schrittweise minimiert. Um die dabei stattfindenden Austauschbeziehungen (trade-off) vergleichen zu können, eignet sich zum Beispiel die Methodik der Wertanalyse. Dabei werden funktionale Abläufe nach ihrer Erfordernis und/oder kostengünstigeren und attraktiveren Gestaltung hinterfragt. Klassische Wirtschaftlichkeitsrechnungen (WR) vergleichen in der Regel Alternativen. Typisch sind Vergleiche von Beschaffungsmassnahmen oder Produktionsfaktoren. Dabei untersucht die WR, inwieweit die eingesetzten Produktionsfaktoren entsprechend dem Wirtschaftlichkeitsprinzip genutzt werden. Es wird ein Kostenvergleich hinsichtlich der Alternativen hergestellt: Wie viel kostet eine Produktionseinheit (Menge oder Zeiteinheit) mit einem anderen Verfahren oder Produktionsmittel? Zum Beispiel Maschinen verschiedener Typen oder Hersteller für ein definiertes Produktionsverfahren. Dabei können verschiedene Einflussgrößen verglichen werden: Leistungsausstoss, Anzahl benötigter Mitarbeiter/-innen, Energieverbrauch usw. Es wird die wirtschaftlichste Lösung zwischen bekannten Alternativen gesucht. Nicht gewährleistet ist jedoch, dass es sich um die denkbar günstigste Alternative handelt.

Als Beispiel aus dem Strassenwesen werden z.B. für einen lawinengefährdeten Strassenabschnitt die Lösungsvarianten Lawinenverbauung und Erstellung einer Galerie einander gegenüber gestellt. Damit ist aber noch nicht sichergestellt, dass tatsächlich die kostengünstigste Variante gefunden wurde.

Wirtschaftlichkeitsrechnungen werden häufig synonym als Investitionsrechnungen verstanden. Dabei wird der Erfolg der Investition über die erwarteten Einnahmen und Ausgaben miteinander verglichen.

Lebenszykluskostenrechnungen bestimmen primär sämtliche Kosten eines Objektes oder Systems, die über die gesamte Nutzungsdauer anfallen. Dies ist die analytische Seite, häufig auch als Lebenszykluskostenanalyse oder Life Cycle Cost Analysis (LCCA) bezeichnet. Diese Betrachtung steht in der Regel zunächst allein und zieht noch keine Vergleiche und/oder Konsequenzen – siehe oben. Während eine elementare Kostenrechnung von der kalkulatorischen Abschreibung des investierten Kapitals ausgeht, summieren die LZK-Rechnungen sämtliche Investitionen als Ganzes. Das ist zwar ein kleiner, in der Praxis aber bedeutender Unterschied, wie sich noch zeigen wird.

Werden verschiedene LZK zum gleichen Objekt – beispielsweise in Form von Varianten – miteinander verglichen, ergibt sich ein klassischer Wirtschaftlichkeitsvergleich. Voraussetzung ist, dass allen Berechnungen die gleichen Rahmenbedingungen zu Grunde liegen.

Die primäre Idee des Life Cycle Costing ist es jedoch, ein Objekt oder System mit möglichst tiefen LZK zu gestalten. Darin unterscheidet sich das LCC von rein vergleichenden Verfahren. Methoden auf der Basis der LZK wie das Life Cycle Engineering entfalten erst dann ihre volle Wirkung, wenn sie auf eine vordefinierte Nutzungsdauer ausgelegt sind und damit die technische Lebensdauer der effektiven Nutzung angepasst werden kann – „Design for Lifetime“. Diese Form des Engineering hat in den letzten Jahren immer mehr Einfluss in der Gebrauchsgüterindustrie erlangt. Typische Beispiele sind: Computer, Kommunikationsgeräte, Haushaltsgeräte, elektronische Bauteile usw. In Extremfällen werden die Produkte so konzipiert, dass ihre Lebensdauer nur auf die Zeitspanne bis zur Markteinführung neuer Modellreihen ausgelegt ist. Daraus entsteht eine enge Wechselbeziehung zum Produktlebenszyklus, wie in **Abb. 2-1** dargestellt.

Das „Design to Lifetime“ setzt sich zunehmend auch bei investiven Wirtschaftsgütern durch wie zum Beispiel bei Bahninfrastrukturen.

Life Cycle Costing und Life Cycle Engineering sind reine Gestaltungsinstrumente und keine Hilfsmittel zur Analyse. Der häufig synonym für das Life Cycle Costing verwendete und vor allem im englischen Sprachgebrauch geläufige Begriff der „Life Cycle Analysis“

ist deshalb irreführend und sollte vermieden werden. Das heisst jedoch nicht, dass die Gestaltung ohne analytische Betrachtung der Einflussgrössen auskommt – siehe oben.

Eine interessante vergleichende Übersicht zwischen den klassischen Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung und dem Life Cycle Costing findet sich bei Professor U. Weidmann [5] und A. Müller [6] – **Abb. 2-6**.

WR (klassisch)	LZK (LCC)
passiv / reaktiv (vergleichend)	Aktive Gestaltung der Kostenelemente
Planung einer Variante, Rechnung gegen Ist-Zustand (Kapitalwert-/Annuitätenmethode)	Systematisches Herausarbeiten „aller“ Lösungsalternativen bezogen auf die Zielfunktionen, Optimierung aller Kostenelemente
„Erfolg“, wenn positives Ergebnis	Erfolg, wenn Gesamtkostenoptimum *) erreicht bzw. Business-Case verifiziert (Zielkosten)
*) Optimierung zwischen: Lebenszykluskosten, Anlageneffektivität (OEE) und Werterhaltung	

**Abb. 2-6:** Gegenüberstellung der der Methodik des Life Cycle Costing und der klassischen Wirtschaftlichkeitsrechnung (WR) (Quelle: U. Weidmann ETH / A. Müller DB AG)

### Zusammenfassung

Klassische Wirtschaftlichkeitsrechnungen und das Life Cycle Costing dienen unterschiedlichen Zielen. Wirtschaftlichkeitsrechnungen dienen in der Regel dem Vergleich, das Life Cycle Costing der Gestaltung.

## 2.3.6 Differenzierung PLZK und OLZK

Wie in Kapitel 2.3.3 aufgezeigt, besteht ein Unterschied zwischen dem Life Cycle Management von Produktlinien (Ge- und Verbrauchsgüter) und dem von Investitionsgütern (Objekten). Dieser wird nachstehend grob skizziert. Zur Unterscheidung werden hier die Begriffe „**Produkt Lebenszykluskosten**“ (PLZK) und „**Objekt Lebenszykluskosten**“ (OLZK) eingeführt.

### Produkt Lebenszykluskosten – PLZK

Das Life Cycle Costing von Produkten ist auf „Massenware“ fokussiert. Produkte wie Autos, Handys, Haushaltgeräte, Kleidung, Luxusartikel usw., die einem Modetrend (= Veralterung im Markt) unterliegen. Er beginnt mit der Entwicklung und dem Design des Produktes. Neben der Herstellung, dem Gebrauch und dessen Entsorgung bezieht er aber auch die gesamte Beschaffung und Vermarktungskette mit ein: Supply Chain, PR & Marketing, Distribution & Logistik, Verkauf, After Sales Services, Recycling Service und andere. Leistungen die im LCC von Investitionsgütern nicht berücksichtigt werden. Der Absatz der Produkte verläuft nicht konstant. Er ist geprägt von einer Einführungsphase, einer Wachstumsphase, einer Topphase (Reifephase) und einer Abkühlungsphase (Rückgangphase) (siehe **Abb. 2-1**). Alle diese Faktoren werden im PLCC berücksichtigt und in der Regel auf die Summe der abgesetzten Produkte umgeschlagen.

Die Gesamtkosten aller Investitionen, Leistungen und Materialien werden so gestaltet, dass die Einstandskosten des einzelnen Produktes möglichst tief ausfallen, um gegenüber Konkurrenzprodukten wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Rede ist von „Produkt Lebenszykluskosten“ (PLZK). In der Praxis und in der beschreibenden Literatur wird auf das

„P“ für „Product“<sup>1)</sup> meist verzichtet, was zu den in Kapitel 2.3.1 erwähnten Schwierigkeiten führt. Hierauf wird noch näher eingegangen.

Von den Bedürfnissen der Produktlebenszyklen abweichende Anforderungen stellten sich im militärischen Bereich sowie in der Rohstoff- und Energiewirtschaft. Dadurch entstand bereits eine Vielzahl unterschiedlicher Anforderungsprofile an die Lebenszykluskostenrechnung. Gemeinsam ist ihnen, dass sie sich aus den bekannten Grundlagen der Betriebswirtschaft entwickelt haben, unter Einbezug von Modellen des Controlling, der Kostenrechnung, von Finanzierungs- und Investitionsrechnungen usw. Sie wurden den jeweiligen Problemstellungen angepasst.

In den investitionsintensiven Wirtschaftszweigen bildeten die PLZK die Ausgangslage, um die erforderlichen Investitionsgüter dem Produktlebenszyklus anzupassen und damit zu optimieren. Für die Investitionsgüter – zum Beispiel maschinelle und technische Anlagen – entstanden eigene Anforderungsprofile. Sie gehen davon aus, die Anlagen entweder so auszulegen, dass ihre Lebensdauer sich mit dem Produktlebenszyklus im Einklang befindet oder dass sie sich durch wirtschaftlich sinnvolle Umbaumaßnahmen neuen Nutzungen zuführen lassen. Diese Anforderungsprofile unterscheiden sich wesentlich von denen der Produktlebenszyklen. Zur Differenzierung wird der Begriff „Objekt Lebenszykluskosten“ (OLZK) verwendet.

#### **Objekt Lebenszykluskosten – OLZK**

In weiterer Abhängigkeit zum Produktlebenszyklus steht der Wertschöpfungsprozess, den jedes einzelne Produkt beim Hersteller von der Entwicklung bis zur Auslieferung durchläuft. Die technischen und/oder baulichen Anlagen, die die Produktherstellung ermöglichen, sind Ressourcen in diesem Wertschöpfungsprozess (Kapitel 2.3.4).

Wie oben beschrieben, ähneln die Anforderungsprofile und Geschäftsprozesse von Bauwerken und Infrastrukturanlagen denjenigen der technischen Investitionsgüter.

In weiteren Kapiteln werden die Unterschiede zwischen PLZK und OLZK herausgearbeitet. Ausgehend von den OLZK werden dann die spezifischen Bedürfnisse des Strassenmanagement an die Lebenszykluskosten abgeleitet.

#### **Zusammenfassung**

Zwischen der Berechnungsweise der Lebenszykluskosten von Verbrauchsgütern – PLZK – und denjenigen von Investitionsgütern – OLZK – besteht ein erheblicher Unterschied.

### **2.3.7 Lebenszyklusmanagement**

Life Cycle Costing dient als Grundlage des Life Cycle Management (Lebenszyklusmanagement). Life Cycle Management (LCM) bezeichnet das strategische Vorgehen zum Steuern eines Objektes (Objektmanagement) bzw. eines Systems über dessen gesamten Lebenszyklus. Der Inhalt umfasst die erforderlichen Konzepte, Methoden, Prozesse, Organisationsstrukturen und die dazu entsprechenden Controlling- und IT-Instrumente.

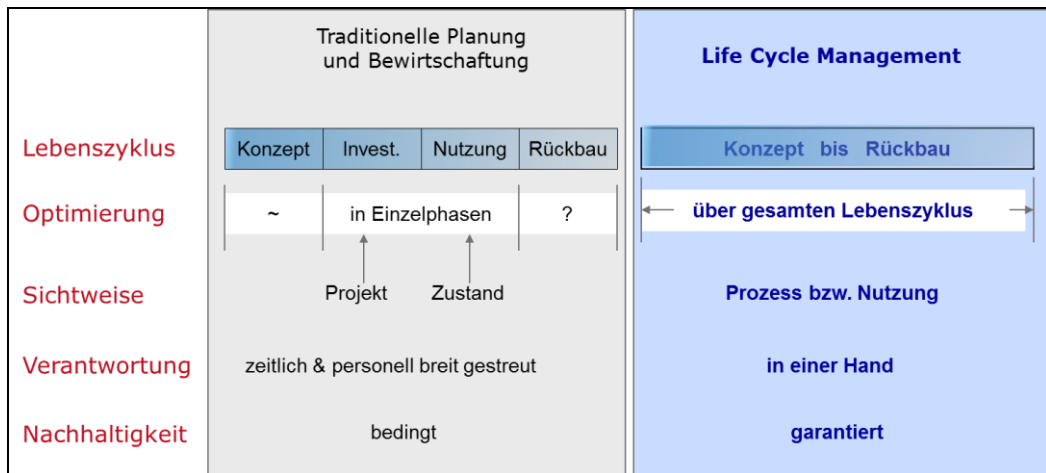
Das Konzept des LCM betrachtet den Lebenslauf von Objekten und Systemen als durchgängige Philosophie. Das erfordert und erleichtert auch die Integration der Anforderungen nach sozialer, ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit. Ausgehend von dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung sind die Ziele eines ganzheitlichen Lebenszyklusmanagements über den gesamten Betrachtungszeitraum in Anlehnung an Herrmann [7] die:

- Minimierung von Risiken,
- Minimierung von Kosten und Optimierung der Erlöse

<sup>1</sup> Beachte: In der Literatur wird in der Regel die englische Schreibweise angewendet. Dabei steht LCC sowohl für „Life Cycle Cost“ wie auch für „Life Cycle Costing“. Dies kann verwirren. Deshalb verwenden wir in dieser Arbeit für die „Lebenszykluskosten“ stets die deutsche Schreibweise, für alles andere die englische.

- Minimierung von sozialen und Umweltwirkungen
- Maximierung der Gesamtanlageneffektivität und der Werterhaltung

**Abb. 2-7** verdeutlicht die Unterschiede. Die traditionelle Planung ist – etwas überspitzt formuliert – durch die zustands- und projektorientierte Sichtweise geprägt. Das Life Cycle Management ist dagegen objektorientiert und richtet sich nach der Verwendung des Objektes in einem übergeordneten Wertschöpfungsprozess – zum Beispiel: Strassenverkehr – aus. Die Verantwortung für das Objekt liegt dabei über den gesamten Lebenszyklus in einer Hand, womit unter anderem der Grundstein für eine durchgängige Nachhaltigkeit gelegt wird.



**Abb. 2-7:** Gegenüberstellung Life Cycle Management zu traditioneller Planung (Quelle: ALM GmbH [8])

Die resultierenden Aufgaben eines ganzheitlichen Life Cycle Management beschreibt Herrmann als (Zitat):

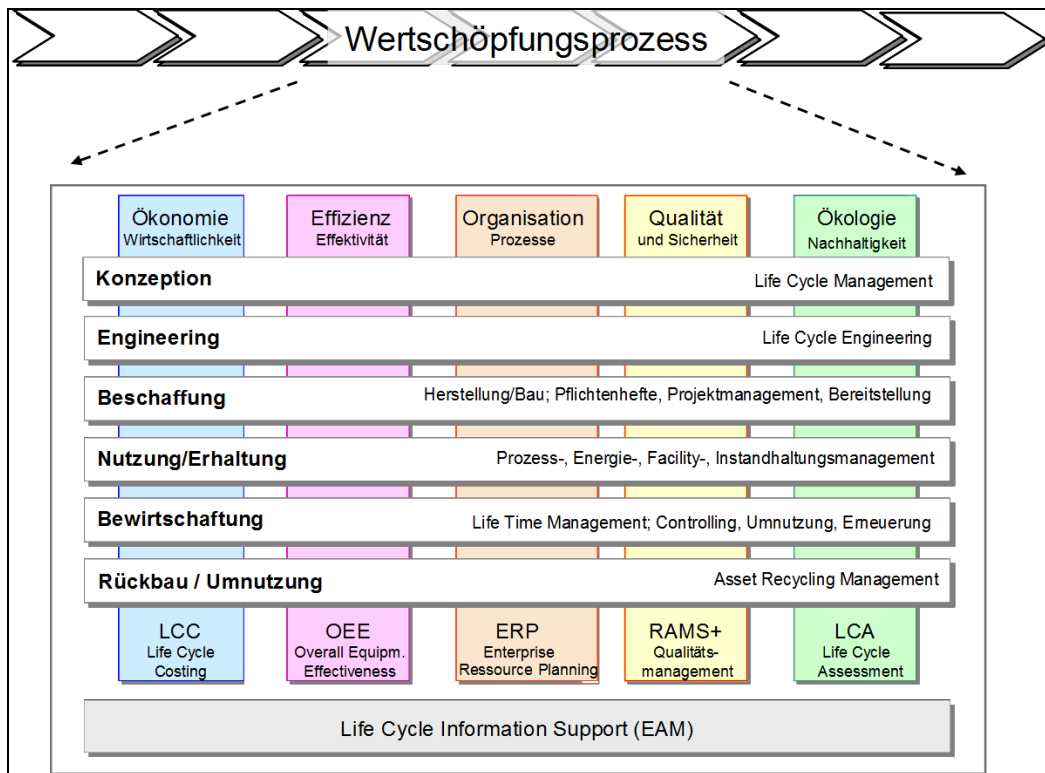
- Berücksichtigung aktueller und zukünftiger Veränderungen systemrelevanter Zustandsgrößen sowie die Beachtung der Kopplung unterschiedlicher Systeme und deren resultierenden Zusammenhänge
- Entwicklung geeigneter Massnahmen, um den Verlauf der Zustandsgrößen im Sinne der Ziele eines ganzheitlichen Life Cycle Managements zu beeinflussen
- Aktive Gestaltung, Lenkung und Entwicklung verschiedener Lebenszyklen sowohl der Primär- als auch der Sekundärprodukte
- Gestaltung der Schnittstellen zwischen den einzelnen Produktlebensphasen\*) und damit teilweise auch zwischen den einzelnen Akteuren entlang der erweiterten Supply Chain
- Erschliessung der Potenziale durch einen integrativen Ansatz auf allen Managementebenen
- Auswahl und Einsatz geeigneter Methoden und Werkzeuge zur abgestimmten Entwicklung von Massnahmen in verschiedenen Produktlebensphasen

\*)Im vorliegenden Kontext sind die Produktlebensphasen durch die Lebensphasen der Objekte – in unserem Falle der Strassenverkehrsanlagen – zu ersetzen.

Mit dem „Werkzeugkasten für die praktische Anwendung“ der vorliegenden Forschung – Kapitel 6 – soll für das Strassenmanagement vor allem die letzte Aufgabe eingeleitet werden.

Dafür ist es erforderlich, dass die fundamentalen Anforderungen an Wirtschaftlichkeit, Effizienz und Effektivität, an die organisatorischen Prozesse, Abläufe und Strukturen, an Qualität und Sicherheit sowie Nachhaltigkeit und Umweltbewusstsein in einem Kontext optimal zusammenwirken. Diese Abstimmung erfolgt über sämtliche Phasen des Lebenszyklus der Objekte. Ein zielgerichteter Informationssupport gewährleistet das opti-

mierte Zusammenwirken, was die **Abb. 2-8** veranschaulicht.

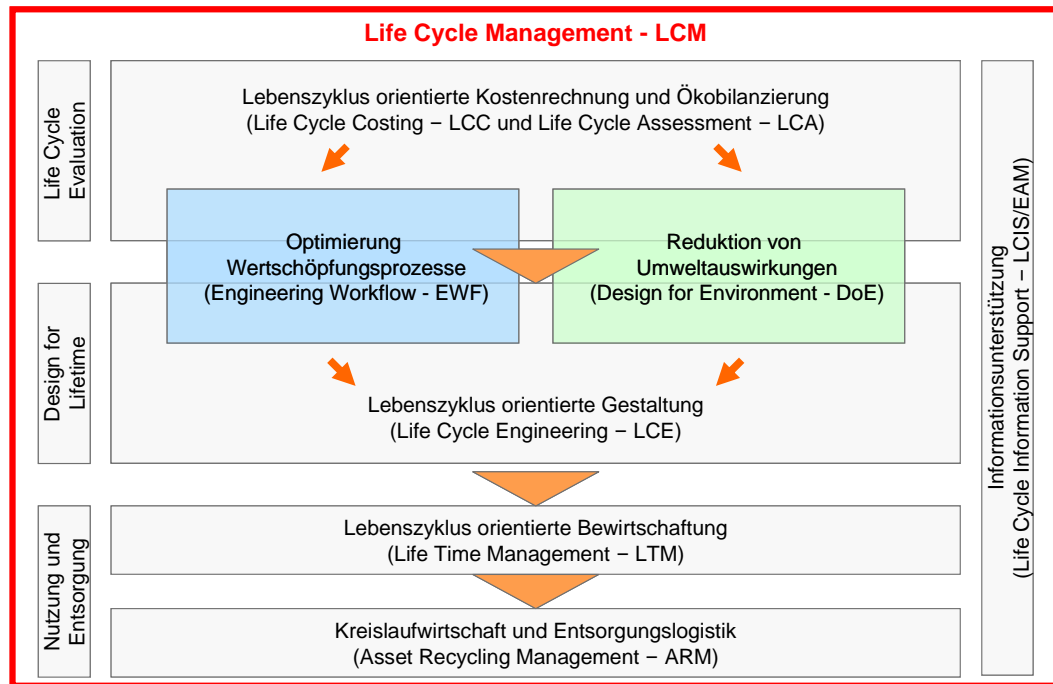


**Abb. 2-8:** Optimierungskriterien für die Gestaltung der Lebenszykluskosten technischer und baulicher Anlagen (Quelle: ALM Asset Lifecycle Management GmbH [8])

Das bedingt, dass auch die Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenslauf berücksichtigt werden. Dieser Prozess wird **Life Cycle Assessment (LCA)** bzw. **Ökobilanz** genannt. Es umfasst die Methoden für die Ermittlung von Umweltauswirkungen der Herstellung, Nutzung und Entsorgung der Wirtschaftsgüter und ist ein integraler Bestandteil des Life Cycle Management.

In diesem Zusammenhang nimmt das Life Cycle Assessment verbunden mit dem Life Cycle Costing (LCC) eine immer bedeutendere Rolle ein. Mittels LCA werden die Ökobilanzen erstellt und die Umweltauswirkungen ermittelt, die durch die Herstellung, Nutzung und Entsorgung der Objekte und Systeme entstehen. Ergänzend werden Methoden **entwickelt** um die Ökobilanzen gemäss dem dreistufigen Grundsatz des „1. Vermeiden, 2. Weiter nutzen, 3. Erneuern (recyclen)“ zu verbessern. Durch die nutzungs-, umwelt- und recyclinggerechte Entwicklung und Herstellung technischer und baulicher Objekte sollen sich diese im Idealfall am Ende ihrer Nutzungsphase entweder umnutzen oder durch Recycling als Wertstoffe wiedergewinnen lassen. LCA steht damit im Einklang mit der Forderung des LCC die Kosten zu reduzieren. Life Cycle Assessment ist in ISO 14040 [9] normiert. **Abb. 2-9** zeigt die entsprechende Modellkonfiguration.





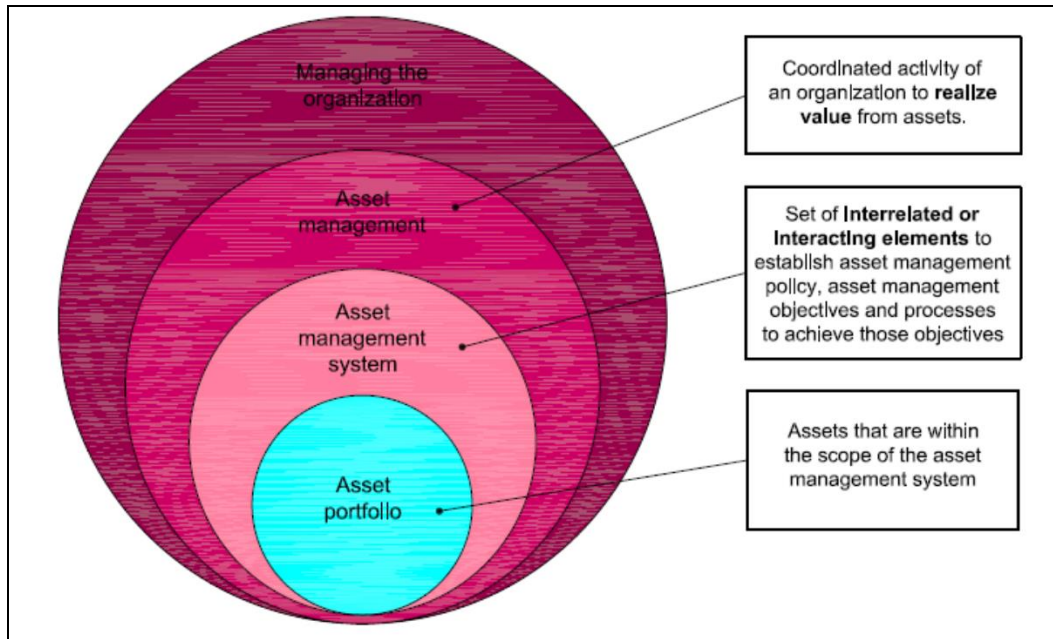
**Abb. 2-10:** Phasen des Life Cycle Management (Quelle: Darstellung in Anlehnung an IFF der Univ. Stuttgart)

**Zusammenfassung**

Das Lebenszyklusmanagement stellt das optimierte Zusammenwirken aller Einflussgrößen auf das Objekt in sämtlichen Phasen des Lebenszyklus sicher. Die Kostengestaltung (Life Cycle Costing) ist dafür eine wesentliche Grundlage.

### 2.3.8 Asset Management

Das Lebenszyklusmanagement (LCM) ist eingebettet in ein umfassenderes „Asset Management“. Es organisiert, steuert, optimiert und bewirtschaftet die Sachanlagen/Objekte (Assets) einer Organisation (Unternehmung, Tiefbauamt, Immobilienverwaltung usw.) als Ganzes. Das betrifft sowohl das einzelne Objekt wie auch ganze Portfolien und Systeme. In diesem Zusammenhang ist der Begriff Asset Management nicht ganz korrekt. Für Sachanlagen wäre der Ausdruck „Physical Asset Management“ zutreffender. Asset Management als Begriff und in seinen Inhalten ist jedoch geprägt durch den zukünftigen Standard ISO 55000ff [11] – **Abb. 2-11**.



**Abb. 2-11:** Relationship between key terms in Asset Management (Quelle: ISO/FDIS 55000 – Asset Management - Overview, Principles and Terminology; Final Draft, 2013-10-07)

Das neue Regelwerk beschreibt Asset Management als die systematischen und abgestimmten Aktivitäten und Vorgangsweisen, durch die eine Organisation ihre physischen Investitionsgüter (Assets) – und die damit verbundenen Leistungen, Risiken und Ausgaben – über deren gesamte Lebensdauer – optimal und nachhaltig bewirtschaftet, um den strategischen Plan der Organisation umzusetzen.

Der Standard setzt sich zusammen aus den Teilen:

- ISO 55000 Asset Management – Overview; hier wird ein Überblick über das gesamte Asset Management definiert
- ISO 55001 Asset Management – Requirements; die Unternorm gilt als Pflichtenheft des integrierten Managementsystems für Vermögenswerte
- ISO 55002 Asset Management – Guidelines on the application of ISO 55001; darin sind die Leitlinien für die Umsetzung des Systems festgelegt

Die Ziele des Standards werden beschrieben mit:

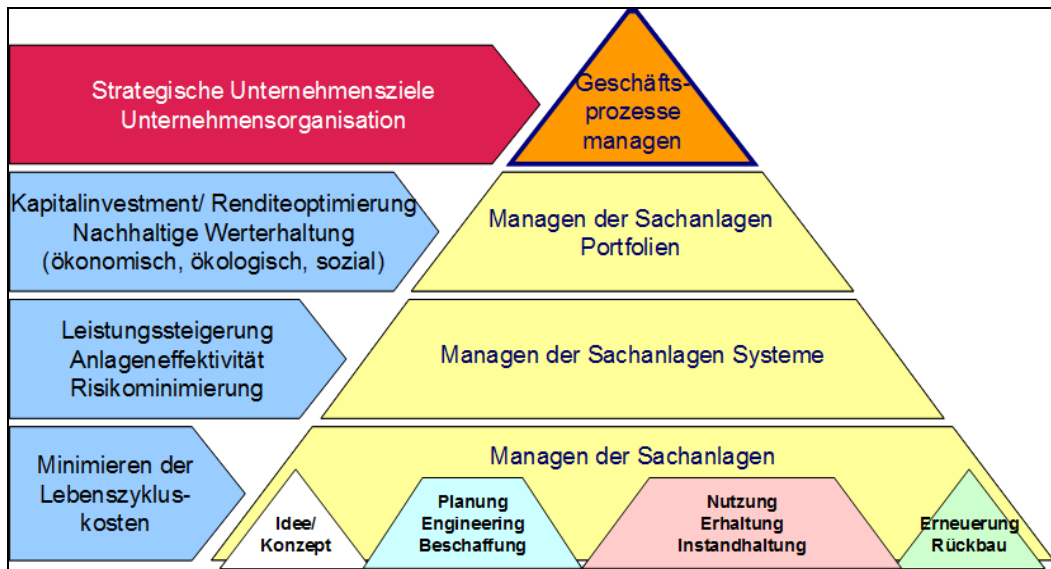
- Effizienzsteigerung
- Reduktion von Risiken
- Einheitliche Sprachregelung
- Verbessern der Kundenzufriedenheit
- Verbessern der Zufriedenheit der Stakeholder
- Verbessern der Nachhaltigkeit
- Verbessern von Kultur und Organisation



Daraus wird deutlich, dass „Asset Management“ und Life Cycle Management heute bereits untrennbar miteinander verbunden sind.

Im deutschen Sprachraum haben sich für das Asset Management auch sinngemäss die Begriffe „Objektmanagement“ bzw. „Management von Sachanlagen“ etabliert.

Gemäss der ISO 55000 wirkt Asset Management fachübergreifend um eine maximale Wertschöpfung für die Unternehmung zu ermöglichen. Es übernimmt die Verantwortung für die strategischen Ziele des Objekt Portfolios. Das beinhaltet die Vorgaben für die best mögliche Nutzung, Erhaltung und Erneuerung sowie einer permanenten optimalen Weiterentwicklung. Den Aufbau illustriert die **Abb. 2-12**.

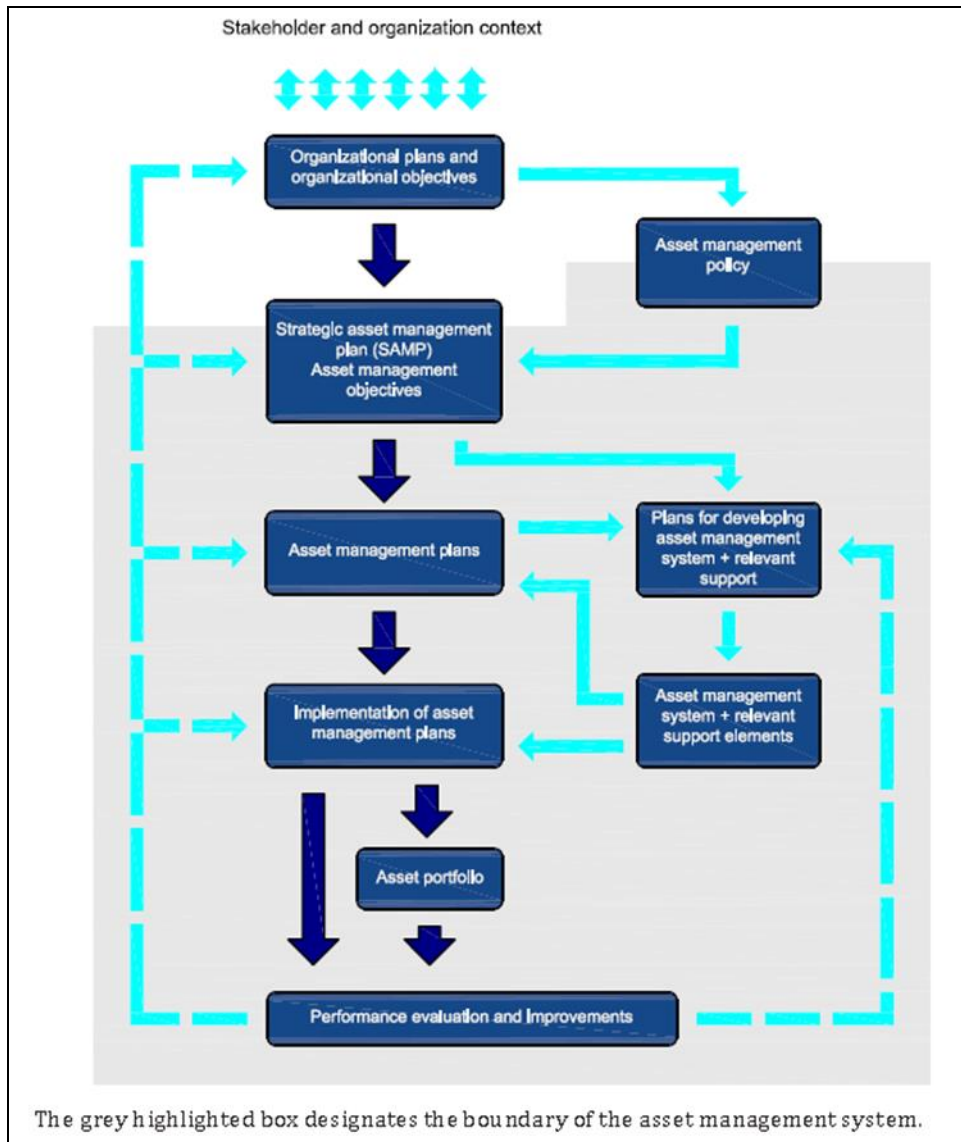


**Abb. 2-12:** Aufbau des Physical Asset Management (Quelle eigene Darstellung in Anlehnung an PAS 55 [12])

Somit konzentriert sich der Inhalt dieser Normenreihe unter anderem auf:

- Kontext der Organisation
- Führung und Verpflichtung
- Politik
- Planung (Handlungen, um Risiken zu erkennen und Massnahmen fürs Asset Management System)
- Unterstützung, Kompetenzen, Kommunikation und Umsetzung
- Betriebliche Planung und Kontrolle
- Leistungsbewertung (Monitoring, Analysen, Bewertungen)
- Kontinuierliche Verbesserungen.

Das Zusammenwirken dieser Elemente stellt der Standard gemäss **Abb. 2-13** dar.



**Abb. 2-13:** Relationship between key-elements of an Asset Management System  
 (Quelle: ISO/FDIS 55000 – Asset Management - Overview, Principles and Terminology;  
 Final Draft, 2013-10-07)

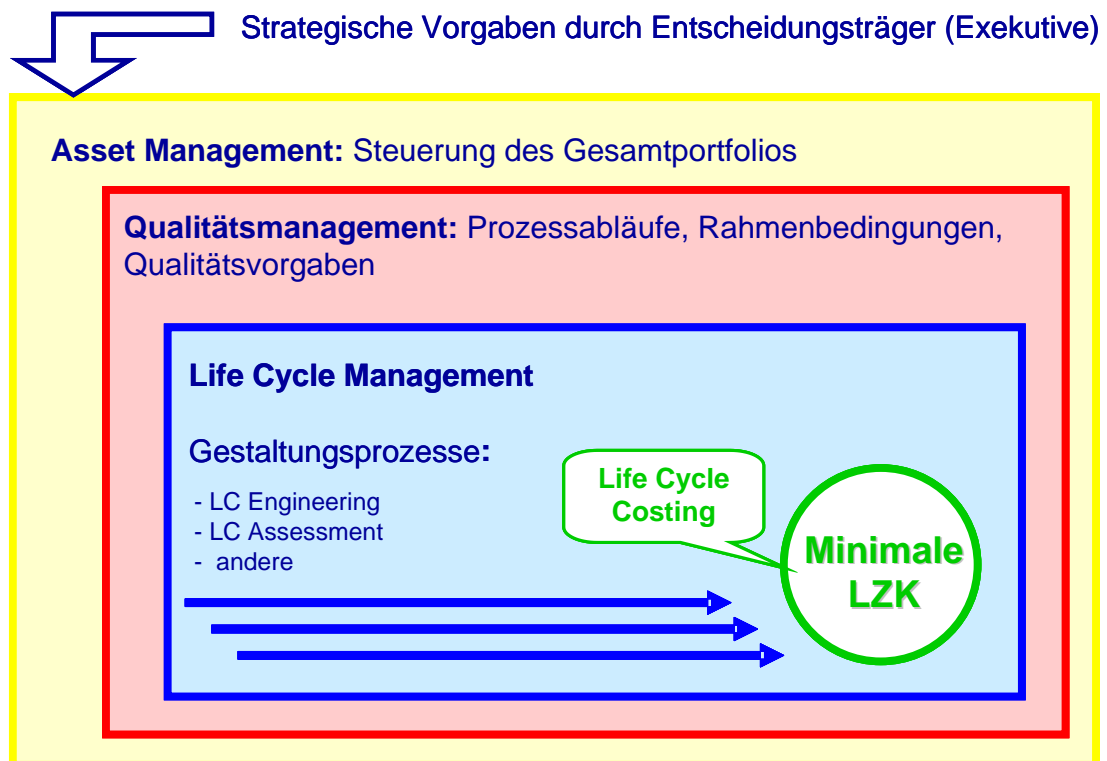
Im Zusammenhang mit dem Asset Management ist auf die VSS Forschung 2009/708 „Asset Management der Strassen aus der Sicht des Erhaltungsmanagements“ - Initialprojekt des ASTRA [13] zu verweisen.

### 2.3.9 Zusammenfassung „Herleitung und Entwicklung“

Die Idee die Kosten über die gesamte Nutzungsdauer einer Anlage oder eines Produktes zu minimieren, lässt sich bereits über einige Jahrhunderte zurückverfolgen. Einen bedeutenden Stellenwert in der Wirtschaft hat sie erst gegen Ende des 20. Jahrhunderts erlangt. Es war dort vor allem die Gebrauchsgüterindustrie, die sowohl den Lebenslauf ihrer Produkte, als auch deren Verweilung im Markt kennen lernen wollte, um ihre Investitionen darauf ausrichten zu können. Das sich daraus entwickelnde Life Cycle Costing ist auf diese Fragestellungen ausgerichtet und orientiert sich an der Wertschöpfungskette.

Es bot sich an, den Erfolg dieser Kostenbetrachtung auch auf hochwertige Wirtschaftsgüter zu übertragen, zuerst in der Industrie und nun zunehmend auch bei Immobilien und bei der Infrastruktur. Dazu sind Anpassungen in der Methodik erforderlich. Dieser Prozess ist derzeit noch in Gang. Zukünftig ist es erforderlich, zwischen Produkt Lebenszykluskosten und Objektlebenszykluskosten zu trennen.

Life Cycle Costing lässt sich nicht isoliert betrachten. Es ist eingebunden in ein ganzes System von Managementpraktiken mit entsprechenden Voraussetzungen und Abhängigkeiten, verdeutlicht in **Abb. 2-14**. Ausgehend von den strategischen Vorgaben der Entscheidungsträger steuert das Asset Management das Gesamtportfolio aller Strassenverkehrsanlagen eines Gemeinwesens und definiert damit Prozessabläufe, Rahmenbedingungen und Qualitätsvorgaben des Qualitätsmanagement. Sie bilden die Richtlinien für das Lebenszyklus Management und dessen Gestaltungsprozesse zur Minimierung der Lebenszykluskosten. Neben dem Life Cycle Engineering und Assessment (Ökobilanzierung) ist die Wertanalyse ein u.a. nach EN 12 973, genormtes Verfahren zur Untersuchung von Verwaltungsabläufen mit dem Ziel, diese kosten- und funktionsorientiert zu optimieren.



**Abb. 2-14:** Einbettung der Lebenszykluskosten in das Gesamtsystem zur Optimierung und Bewirtschaftung des Sachanlagenportfolios; hier: Strassenverkehrsanlagen

## 2.4 Stand der Forschung und des Wissens

Das nachfolgende Kapitel setzt sich mit dem aktuellen Stand des Life Cycle Costing auseinander. Dabei interessieren vor allem Fragen der Normierung und der Standardisierung.

Abgesehen von Brücken und Technischen Anlagen, wozu auch die BSA – Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen des Strassenbereichs zu zählen sind, sind entsprechende Grundlagen für Strassenverkehrsanlagen noch spärlich zu finden. Das Kapitel konzentriert sich deshalb auf Bestehendes aus anderen Branchen. Es soll Anhaltspunkte und Rückschlüsse auf zukünftige Überlegungen für das LCC im Strassenbereich generieren.

### 2.4.1 Verfahrens- und Modellvergleiche

Zur Berechnung der Lebenszykluskosten existiert eine Vielfalt unterschiedlicher Ansätze. Sie sind stark geprägt von der jeweiligen Sichtweise des Verfassers. Dabei spielt nicht nur die Branche eine Rolle sondern auch das Verfahrensziel. Es lassen sich auch Unterschiede zwischen verschiedenen Kulturkreisen feststellen, besonders zwischen den englisch sprechenden und den deutsch sprechenden Kulturräumen. Da es nicht Ziel dieser Forschung ist, einen Vergleich zwischen den verschiedensten LCC-Modellen anzustellen, würde eine weitgreifende Betrachtung den vorgegebenen Rahmen sprengen.

Dennoch erscheint es angebracht, markante Unterschiede zwischen verschiedenen Begriffen und Modellen aufzuzeigen und zu diskutieren. Dabei spielt die Sichtweise verschiedener Technikbereiche und Branchen eine wichtige Rolle für das Verständnis der Gesamthematik. Die daraus zu ziehenden Erkenntnisse schaffen eine solide Grundlage, auf der sich ein LCC-Modell für Strassenverkehrsanlagen entwickeln lässt. Das erleichtert Verständnis und Nachvollzug der in Kapitel 5 – Methodik dargelegten Modellentwicklung für Strassenverkehrsanlagen.

Im Nebeneffekt wird dadurch eine einheitliche Sprachregelung – auch über die einzelnen Branchen hinaus – erleichtert.

Neben dem Begriff der Lebenszykluskosten – LZK (bzw. LCC in der englischen Schreibweise) wird vielfach auch der Begriff „Total Cost of Ownership“ (TCO) oder „Whole Life Cost“ (WLC) verwendet – Kapitel 2.3.1. Daneben existieren noch verschiedene vereinzelte Begriffe. Eine eingehende Analyse der Begriffe zeigt keine eindeutig zuweisende Definition. Feststellen lassen sich hingegen Branchen spezifische Vorlieben und Schwerpunkte:

Begriffe	Anwendungsschwerpunkt
LCC = Life Cycle Cost	Industrie, Verkehr, Immobilien
TCO = Total Cost of Ownership	IT, angelsächsisch, z.T. Militär
WLC = Whole Life Cost	ISO 15686-5
COO = Cost of Ownership	Einzelfälle
Diverse Begriffe	Einzelfälle

Zahlreiche Autoren verwenden die Begriffe synonym und attestieren TCO sowie LCC: „Investitionsentscheidungen unter Beachtung von Gesamtlebenszykluskosten möglich zu machen“. [14]

Massgebliche Ansätze in der deutschen Industrie sind beispielsweise das Prognosemodell des VDMA, (Einheitsblatt 34160) [15], die VDI-Norm 2884 [16] und die DIN EN 60300-3-3 [17]. Gemäss Mattes und Schröter [18] unterscheiden sich diese Ansätze jedoch in vielerlei Hinsichten: Anwendungsmöglichkeiten, betrachtete Lebenszyklusphasen, Kostenbetrachtung aus Hersteller- oder Betreibersicht, Übertragbarkeit auf andere Branchen, Firmen oder Produkte, Kostenaufteilung und Beachtung finanzieller Aspekte, wie z. B. die Diskontierung (Frank et al. 2007 [19]; Herrmann et al. 2011) usw.

Auf Grund einer umfassenden Studie zur „Gesamtkostenrechnung TCO“ kommen Weissenberger und Koch [20] zur Erkenntnis [Zitat]:

*„Die verwandten Begriffe TCO und Life Cycle Costing (LCC) werden häufig vermischt und nicht sauber abgegrenzt. Vereinfacht wird LCC hauptsächlich bei Investitionsgütern in der Industrie verwendet. Dabei sind die Transaktionskosten von untergeordneter Bedeutung, da die Betriebs- und Anschaffungskosten um ein vielfaches höher sind. TCO hingegen wird z.B. bei kleineren Anschaffungen (PC, Software), Verbrauchsgegenständen (Schrauben, Fett), Services etc. verwendet, bei welchen die Transaktionskosten nicht vernachlässigbar sind. Wenn der Anlagenbauer auch Betreiber wird, spielt TCO natürlich auch in der Investitionsgüterindustrie eine größere Rolle.“*

Ferner zitieren sie Erkenntnisse von Krämer (2007) und Krischun (2010). Dabei sieht Krämer [21] die TCO als besondere Variante der LZK an, mit spezieller Ausrichtung auf das Beschaffungsmanagement von Verbrauchsgütern und Dienstleistungen mit der Konsumentenperspektive des Käufers. Die LZK unterstützen bei dieser Interpretation auch andere Unternehmensbereiche die sich stark auf die Investitionsgüterseite ausrichten. Dieser TCO-Ansatz wird auch von Krischun [22] vertreten, mit starker Ausrichtung auf die „Supply Chain“ des Beschaffungswesens von Gebrauchsgütern. Vergleiche Kapitel 2.3.6.

Daraus folgt, dass das Life Cycle Costing (LCC) respektive die Lebenszykluskosten sich auf die OLZK (Objekt Lebenszykluskosten) – Kapitel 2.3.6 – ausrichten. Das bedeutet, dass im Zusammenhang mit **Strassenverkehrsanlagen konsequent der Begriff LZK anzuwenden** ist (bzw. LCC für Life Cycle Cost sofern der englische Begriff verwendet wird).

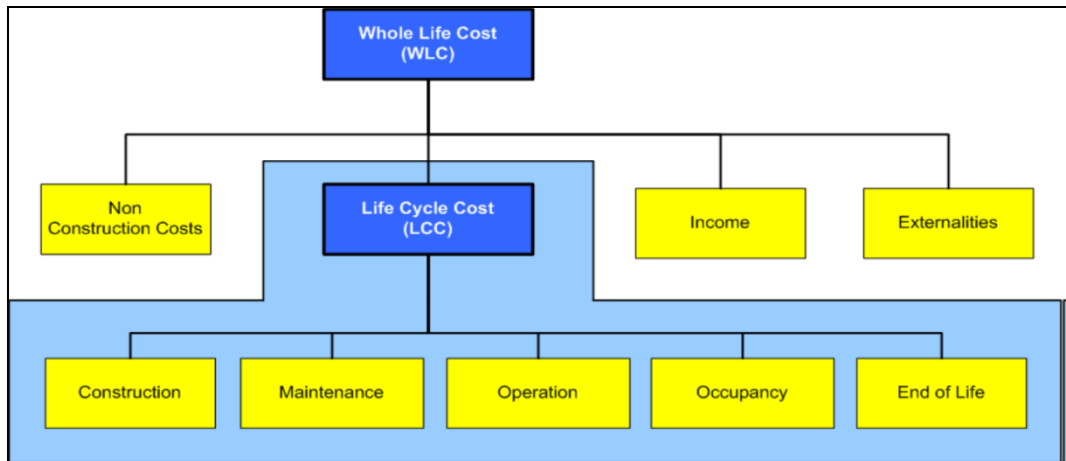
In der Literatur trifft man teilweise die Begriffe LCC (hier: für Life Cycle Cost) und TCO auch kombiniert an, was eine klare Interpretation zusätzlich erschwert. Dabei wird der eine oder andere Begriff als Überbegriff verwendet. Zur Vollständigkeit sind die bedeutendsten Interpretationen hier kurz aufgezeigt:

Varianten (abhängig vom Betrachtungsumfeld des Autors):

nur LCC *)	dominierend in Europa
nur TCO	verbreitet in Nordamerika, Australien
LCC = TCO	häufig
LCC Untermenge von TCO	verbreitet (auch VDMA)
TCO Untermenge von LCC	selten
LCC ≠ TCO	Einzelfälle

\*) LCC steht hier für Life Cycle Cost (= LZK)

Auf Grund der oben zitierten Erkenntnisse, ist diese kombinierte Betrachtungsweise von LCC und TCO verfänglich und deshalb in jedem Falle abzulehnen. Die sich auf Gebäude beziehende Richtlinie ISO 15686-5 (2008) [23] führt als Übermenge den Begriff „Whole Life Cost“ (WLC) ein. Dieser WLC-Ansatz steht über dem LCC-Ansatz (Life Cycle Cost) – **Abb. 2-15**. Bei dieser viel zitierten Norm ist zu beachten, dass die Kosten der Ausserbetriebnahme am Ende des Lebenszyklus nicht zwingend enthalten sein müssen. Diese Betrachtungsweise kann das Kostenbild gänzlich verfälschen. Dies vor allem dann, wenn hohe Rückbau- und Entsorgungskosten anfallen, wie beispielsweise bei starken Kontaminationen oder der Endlagerung radioaktiver Abfälle. Auch die Energiekosten werden in dieser Norm nicht explizit einbezogen. Bei Gebäuden sollte dies zumindest für die thermische Energie zwingend sein.



**Abb. 2-15:** Struktur des Lebenszykluskosten Modells (hoch-)baulicher Anlagen nach ISO 15686-5

Im WLC-Ansatz werden auch Erlöse (incomes) und indirekte Kosten („externalities“ und „non-construction costs“) berücksichtigt. Die LCC (LZK) berücksichtigen dagegen die rein Objekt orientierten Kosten über den Lebenszyklus (Geißdörfer 2008 [24]). Aus dieser Optik wird im Immobilienmanagement vor allem in Österreich aber auch beim KBOB in der Schweiz (Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren – KBOB) von Objektkosten und Objektkostenrechnung gesprochen.

Die Britische „Standardized Method of Life Cycle Costing for Construction Procurement“ [25] in Ergänzung zur ISO 15686-5, mit grossem Einfluss auf die englisch sprechenden Staaten empfiehlt sogar eine Dreiteilung in:

- “Whole Life Costing”
- “Life Cycle Costing in Construction”
- “Life Cycle Costing in Use”

In der Stufe „Life Cycle Costing in Use“ bleiben die Kosten für Planung und Erstellung unberücksichtigt, um die Nutzungsphase stärker zu betonen.

Für die Situation des Strassenwesens mit praktisch unbeschränkter Nutzung und periodisch wiederkehrenden Erneuerungsmassnahmen ist diese Betrachtung ungeeignet. Sie findet in der vorliegenden Untersuchung keine weitere Berücksichtigung.

### Zusammenfassung

Übertragen auf die Verhältnisse beim Management von Strassenverkehrsanlagen lässt sich ableiten:

- Es soll nur der Begriff LZK in der reinen Form verwendet werden.
- Als LZK sind rein objektabhängige Kosten zu betrachten, die über den gesamten Lebenszyklus anfallen. Sie unterliegen der Verantwortung der Strassenbetreiber, meist Strassenverwaltungen.
- Die gemeinwirtschaftlichen, indirekten Kosten lassen sich gemeinsam mit den objektabhängigen LZK in den „Whole Life Cost“ (WLC) abbilden. Unter den indirekten Kosten sind in diesem Zusammenhang auch Auswirkungen der Strasseninfrastruktur auf die Nutzer, beispielsweise bei Baustellen bedingten Umwegfahrten und auf Dritte, wie Umweltauswirkungen zu verstehen. Da die WLC gemäss **Abb. 2-15** aber auch Erträge beinhalten, die im Strassenmanagement nicht berücksichtigt werden, kann als Kompromiss in den nachfolgenden Kapiteln 3 - 6 der Begriff LZK aus Gesellschaftsperspektive auch auf die Inklusion gewisser Nutzerkosten und Kosten Dritter erweitert werden.

Die Thematik zwischen Betreiberkosten, Nutzerkosten und Kosten Dritter bei Strassenverkehrsanlagen wird im Kapitel 3.3 ausführlich diskutiert.



## 2.4.2 Normen und Richtlinien

Die Vielfalt der modellhaften LCC-Ansätze drückt sich bereits in der Normierung aus. Als Beispiel dafür können deutsche Industrienormen und Richtlinien dienen. Dervisopoulos (2006) hat dazu einen vertiefenden Vergleich verschiedener LCC-Ansätze allein für den Bereich von Werkzeugmaschinen angestellt.

Die Analyse dieser Gegenüberstellung führt Dervisopoulos [26] zu der Feststellung, dass der Fokus der meisten Normen auf der Instandhaltungsphase liegt. Eine Feststellung die die Autoren der vorliegenden Forschung auch im Zusammenhang mit weiteren Modellen, Normen und Richtlinien quer durch alle Branchen gemacht haben. Eine vertiefende Untersuchung in diese Richtung würde das sicherlich statistisch erhärten.

Norm/ Leitfaden	Titel der Norm	Ziel der Norm	Berücksichtigte Lebenszyklus- phasen	Grundlage der Bewertung	Bewertungskriterien und Kostenelemente (exemplarisch)
VDI 2884	Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unterstützung Betreiber bei Auswahl</li> <li>Bewertungsrahmen für den Hersteller für innovative Konfigurationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beschaffung</li> <li>Besitz/Nutzung</li> <li>Entsorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maschinenbeschaffung</li> <li>Betriebs- und Hilfsstoffe</li> <li>Instandhaltungskosten</li> <li>Leistungs- und Qualitätsangaben</li> <li>Außerbetriebnahme und Verwertung</li> </ul>
VDI 2885	Einheitliche Daten für die Instandhaltungsplanung und Ermittlung von Instandhaltungskosten	Eindeutige Beschreibung von Instandhaltungsprozessen als Grundlage für den Austausch zwischen Hersteller und Lieferant	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mengenleistung, Maschinenfähigkeit, Verfügbarkeit etc.</li> <li>Instandhaltungsplan für Inspektion, Wartung, Instandsetzung (mit Angaben zu Intervall, Ausfallzeit, Mitarbeiterqualifikation ...)</li> <li>Lebensdauer von Verschleißteilen</li> <li>Leistung des Hersteller-Service</li> </ul>
VDI 2891	Instandhaltungskriterien bei der Beschaffung von Investitionsgütern	Transparenz der Instandhaltungsrelevanten Ereignisse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kostenrelevante Kriterien der Instandhaltung, z. B.:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Zuverlässigkeit</li> <li>Instandhaltungsaufwand</li> </ul> </li> </ul>
VDMA 34160	Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen	Definition Kostenelemente und Formeln der Berechnung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beschaffung</li> <li>Besitz/Nutzung</li> <li>Entsorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anschaffungspreis, Installation, Zoll...</li> <li>Wartung, Instandsetzung, Energie, Raum, Werkzeuge, ...</li> <li>Demonstrations, Verschrottung...</li> </ul>
VDI 2893	Auswahl und Bildung von Kennzahlen für die Instandhaltung	Definition von Kennzahlen für zielorientierte Ausrichtung der Instandhaltung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kennzahlkatalog zur Instandhaltung</li> </ul>
VDI 4004 Blatt 3	Kenngrößen der Instandhaltbarkeit	Definition von Kriterien zur Bewertung der Instandhaltbarkeit.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instandhaltung</li> <li>Kennzahlen (z. B. MTBF) und qualitative Beurteilungsgrößen (Zugänglichkeit...)</li> </ul>
VDI 4004 Blatt 4	Zuverlässigkeitskenngrößen Verfügbarkeitskenngrößen	Definition von Verfügbarkeitskenngrößen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instandhaltung</li> </ul>
VDI 3423	Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen	Definition der Begriffe, Zifferfassung und Berechnung der Verfügbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instandhaltung</li> </ul>
DIN 31051	Grundlagen der Instandhaltung	Definition der Begriffe der Instandhaltung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instandhaltung</li> </ul>
DIN EN 60300-3-3	Anwendungsleitfaden Lebenszykluskosten	Beschreibung Zweck, Vorgehen und Elemente der LZZ-Analyse	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beschaffung</li> <li>Besitz/Nutzung</li> <li>Entsorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualitativ</li> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formel und Kostenelemente</li> <li>Investitionsrechnung</li> <li>Beispielrechnung</li> </ul>
DIN EN 61703	Mathematische Ausdrücke	Mathematischer Ausdrücke und Formeln	<ul style="list-style-type: none"> <li>Besitz/Nutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantitativ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Funktionsfähigkeit</li> <li>Verfügbarkeit</li> <li>Instandhaltbarkeit</li> <li>Instandhaltungsbeschriftung</li> </ul>

**Abb. 2-16:** Vielfalt von Anwendungsleitfaden und Normen im Zusammenhang mit Lebenszykluskosten bezogen auf die deutsche Maschinenindustrie (Quelle: Dervisopoulos)

Die deutsche Industrielandschaft gilt traditionell als perfekt normiert und optimal strukturiert. Wenn sich allein schon aus den Normierungen und Empfehlungen von DIN, VDI und VDMA derart unterschiedliche Ansätze ableiten lassen, zeigt das, wie unübersichtlich die Materie des Life Cycle Costing heute noch ist und wie divergent deren Betrachtungen. Erweitert man den Fokus auf internationale Ebene und über den Bereich der indust-

riellen Anwendung hinaus: Immobilien, Infrastrukturen wie Bahnen, Strassen, Energiewirtschaft usw. lässt sich ermesen, dass das Methodenbild gänzlich unübersichtlich wird. Wie oben erwähnt, trifft dies in besonders auffälligem Masse zwischen den Betrachtungsweisen aus dem angelsächsischen Raum (GB, USA, Kanada, Australien, Neuseeland) und dem deutschsprachigen Raum (Schweiz, Deutschland, Österreich) zu.

Diese Unterschiede begründen sich sowohl aus mentalen und historisch unterschiedlichen Entwicklungen der Industrie- und Baulandschaften. Dies zeigt sich auch bei Arbeiten aus dem frankophonen Bereich, aus den Niederlanden, Skandinavien oder Japan. Dazu kommt, wie bereits in den oben zitierten Arbeiten erwähnt, der unterschiedliche Blickwinkel zwischen Nutzern (Kunden) und Herstellern (Lieferanten) sowie zwischen einem Produktezyklus (PLZK) und dem Objekteinsatz für einen Wertschöpfungsprozess (OLZK). Ein dritter Hauptgrund findet sich darin, dass vor allem zwischen der Industrie und der Baubranche und dort ebenfalls zwischen Hoch- und Tiefbau noch immer wenig gegenseitige Kenntnisse hinsichtlich der angewendeten Prozesse herrschen. Von gemeinsamen Richtlinien oder gar Normierungen ganz zu schweigen. Dabei zeigt sich gerade im LCM und hinsichtlich der Lebenszykluskosten, wie ausgeprägt die Parallelen der Prozesse bei der Bewirtschaftung technischer und baulicher Anlagen sind. Ein erster Ansatz hinsichtlich einer Annäherung der Methoden soll mit der neuen Norm ISO 55000ff „Asset Management“ [11] geschaffen werden – siehe Kapitel 2.3.8.

Eine wegweisende Arbeit zur Übersicht der vielfältigen Normen und Richtlinien im direkten und indirekten Zusammenhang mit dem Life Cycle Costing haben Blinn et al [27] vorgelegt mit ihrer ausführlichen Normenrecherche. Dabei wurden unter dem Ergebniscluster „Lebenszykluskosten“ = 32 Titel, unter „Lifecycle Costs“ = 3 Titel und unter „Life Cycle Costs“ = 57 Titel gefunden (Überschneidungen möglich). Die Durchsicht dieser Titel zeigt ebenfalls die massive Ausrichtung der Normen und Richtlinien hinsichtlich LCC-Analyse und mit Bezug auf das Product Life Cycle Costing. Abgesehen von der enormen Vielfalt an Richtlinien und Normen zeigt sich die starke Ausrichtung auf die analytische Komponente von Produktimplementierungen. Bei der Anwendung dieser Normen auf die optimierende Gestaltung der Lebenszykluskosten von Objekten – hier: den Strassenverkehrsanlagen – ist deshalb Vorsicht geboten.

**Folgerung:** Übertragen auf die vorliegende Forschung müssen diese Erkenntnisse dazu führen, den zahlreichen vorhandenen Modellen, nicht noch weitere hinzuzufügen. Stattdessen gilt es möglichst ein „Basismodell“ aus der Vielfalt zu extrahieren, was in den folgenden Kapiteln ansatzweise versucht wird. Dazu wird zunächst ein Blick auf die in der Schweiz vorherrschende Normierung mit Fokus auf die Bauwirtschaft geworfen.

Diese Forschung soll auch dazu beitragen, methodische Ansätze und Überlegungen zwischen den Bereichen Bau und Technik verständlicher zu machen, um daraus gemeinsamen Nutzen zu ziehen. Die Erfahrungen der Autoren sowohl in Industrie und Technik wie in der Immobilienwirtschaft und der Infrastrukturlandschaft sollten dafür hilfreich sein.



### Schweizerische LCC-Modelle und Normierungen

Nachstehend werden einige besonders bedeutsame internationale und schweizerische Verfahren, Modelle und Normierungen aufgezeigt. Im Gegensatz zum Strassenwesen liegen in der Schweiz derzeit vor allem Grundlagen aus dem Hochbau vor. Vergleichbare Unterlagen für Bau und Erhaltung von Strassenverkehrsanlagen fehlen in der Schweiz noch gänzlich.

Für die Planung, Erstellung und Bewirtschaftung von Immobilien bestehen seit geraumer Zeit sinnvolle Unterlagen, Richtlinien und Normen im Zusammenhang mit den Lebenszykluskosten, die in zunehmendem Masse von den zuständigen Ämtern bei Kantonen und Gemeinden genutzt werden. Zu nennen sind in erster Linie:

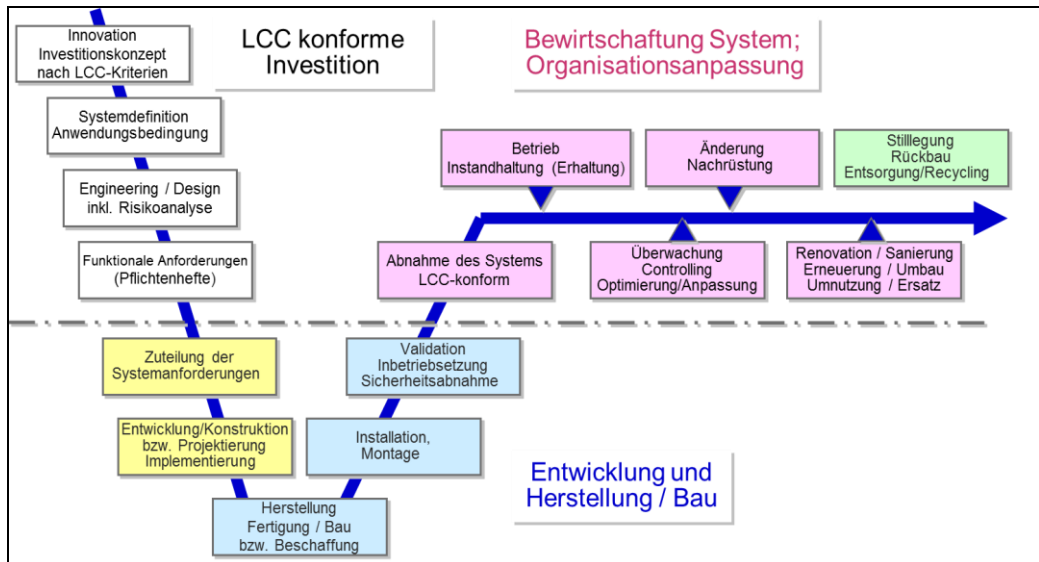
- Norm SIA 112/1 „Nachhaltiges Bauen“ [28]
- Norm SIA 113 „FM-gerechte Bauplanung und Realisierung“ [29]
- CRB „LCC-Leitfaden, Planung der Lebenszykluskosten“ [30] und „LCC-Handbuch, Instandhaltung und Instandsetzung von Bauwerken“ [31] – Schweizerische Umsetzung der ISO 15 686-5
- Richtlinie Prozess-/Leistungsmodell im Facility Management ProLeMo [32]
- Lebenszykluskosten-Ermittlung von Immobilien – Teil 1: Modell, IFMA Schweiz (in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Bauten und Logistik und weiteren Projektpartnern) [33]
- LUKRETIA I bis III; Grundlegendokument zur Anwendung und Ermittlung von Lebenszykluskosten im Rahmen von Baumassnahmen im Hochbaudepartement der Stadt Zürich; 2009 [34]

Die von der IFMA Schweiz und dem CRB in Zusammenarbeit mit 30 Projektpartnern entwickelte Richtlinie ProLeMo definiert die wesentlichen Bewirtschaftungsprozesse im Immobilienmanagement mit entsprechenden Leistungen und der Durchgängigkeit zu einer Nutzungskostenstruktur.

In zunehmenden Masse kommen in der öffentlichen Immobilienwirtschaft auch PPP-Modelle (Public Private Partnership) zum Einsatz, die die langfristige Umsetzung der Life Cycle Costing Modelle sicherstellen. Wegweisend dafür ist zum Beispiel das PPP-Pilotprojekt Neumatt zur Überbauung des ehemaligen Zeughausareals in Burgdorf, Kanton Bern. Auch hierin lassen sich Überlegungen für das Strassenmanagement andenken. Rahmenbedingungen für PPP-Modelle im Bundesfernstrassennetz von Deutschland beschreibt Schröter (2005) in dem Aufsatz: „Der Lebenszyklusansatz im Bundesfernstrassenbau“ [35].

Eine zunehmend wichtige Rolle spielt die **CENELEC Norm EN 50126** „Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)“ [36]; Diese Norm spielt eine bedeutende Rolle im Bahnwesen und ist deshalb auch für das Strassenmanagement interessant. Auf der Grundlage des Systemlebenszyklus wird ein Vorgehen definiert, das insbesondere den Einbezug der RAMS-Kriterien beschreibt. Der Systemlebenszyklus wird in V-Form dargestellt und auch als V-Modell bezeichnet. Ziel der Konzeptphase ist es, das Verständnis für alle nachfolgenden Aktivitäten zu entwickeln. Darauf folgt die Definition der physikalischen Systemumgebung samt deren Eingrenzung, gefolgt von einer eingehenden Gefährdungs- und Risikoanalyse. In der vierten Phase werden für jede einzelne Funktion des Systems/Objektes die Anforderungen festgelegt und in einem Pflichtenheft dokumentiert. Dabei wird vor allem auf die Einhaltung der RAMS-Kriterien Wert gelegt.

In den folgenden Schritten werden die Systemanforderungen auf die Subsysteme verteilt. Anschliessend konstruiert, hergestellt und installiert. Bei der Validierung wird das Zusammenwirken aller Subsysteme und Komponenten auf die übergreifende Zielsetzung hin überprüft. Die folgenden Schritte beschreiben den Betrieb und die Erhaltung des Gesamtsystems bis zu Stilllegung und Rückbau. **Abb. 2-17** zeigt eine Weiterentwicklung des Normmodells.



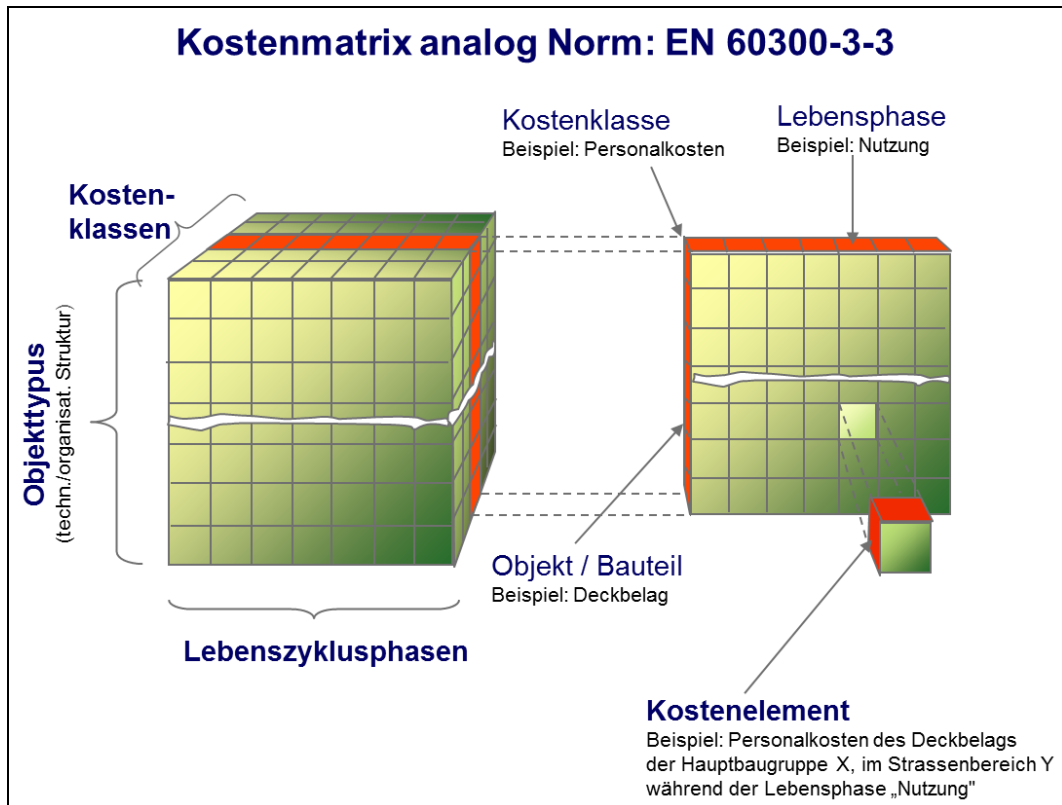
**Abb. 2-17:** Lebenszyklusbetrachtung analog der Norm EN 50126 (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an die Norm EN 50126)

### Zusammenfassung

Zum Thema Life Cycle Costing gibt es eine Vielzahl von Normen und Richtlinien, was eine klare Handlungsstrategie erschwert. Bauseitig betreffen die Schweizer Normen und Richtlinien bisher ausschliesslich den Hochbau. Eine eigene Norm für den Strassenbereich fehlt bisher. Die Erstellung einer eigenständigen Norm sollte dabei Rücksicht auf bestehendes nehmen, und die Vielfalt nicht weiter ausdehnen. Als hilfreiche Basis kann dabei die Cenelec Norm EN 50126 dienen.

### 2.4.3 Standardisierungsbemühungen

Als allgemeine Grundlage aller Modellüberlegungen zur Analyse von Lebenszykluskosten einerseits und zu deren Synthese andererseits ist auf die Norm **EN 60300-3-3:2005** [17] zu verweisen. Kern ist die Modellierung der Kostenelemente der Lebenszykluskosten. Diese werden als dreidimensionaler Würfel dargestellt, der sich aus vielen einzelnen, kleinen Würfeln zusammensetzt (vgl. **Abb. 2-18**). Jeder kleine Würfel symbolisiert ein einzelnes Kostenelement. Die X-Achse des grossen Würfels charakterisiert die einzelnen Lebensphasen des Objektes. Die Y-Achse, als Objekttypus bezeichnet, verweist auf die Komponenten des zu untersuchenden Objektes. Am Beispiel einer Strassenbrücke dokumentiert, können das Brückenanker, Konstruktion, Widerlager, Fahrbahn, technische Einrichtungen usw. sein. Auf der Z-Achse werden die einzelnen Kostenklassen bzw. Kostenarten wie Planung, Instandhaltung, Energiebedarf usw. abgebildet.



**Abb. 2-18:** Modellierung der Lebenszyklus Kostenelemente entsprechend der Norm EN 60300-3-3

Bei einer LCC-Analyse bestehender Objekte erleichtert deren Auflösung in ihre Kostenstruktur die Kostenzuordnung. Dies erlaubt wiederum eine Analyse in jede der drei Dimensionen: nach Lebensphase, nach Komponente oder nach Kostenklasse. Damit sind die Voraussetzungen gegeben für eine Gestaltung der Lebenszykluskosten, wie sie die oben beschriebene Norm EN 50126 vorsieht. Auf der Ebene der Kostenelemente lassen sich Kostentreiber leichter identifizieren und verbessern.

Kernaufgabe des Life Cycle Costing ist es umgekehrt Objekte zu gestalten, mit dem Ziel die LZK zu minimieren. Die strukturelle Gliederung der Kostenelemente erlaubt es, für jedes einzelne Element nach Verbesserungsmöglichkeiten zu suchen. Bedeutsam ist jedoch die Möglichkeit jede einzelne Verbesserungsmöglichkeit eines Elementes in jede der drei Dimensionen abzubilden. Das führt zu einem deutlich verringerten Risiko von Suboptimierungen.

#### Standardisierungsversuch nach Geissdörfer

Das Modell der Norm EN 60300-3-3 eignet sich auch nach Geissdörfer et al [24] am besten als Grundlage für ein Standardisierungsmodell. Die Autoren haben dabei 20 bekannte LCC-Modelle auf bestimmte Standardisierungskriterien hin untersucht – siehe Anhang 1. In die Untersuchung eingeflossen sind solche Modelle, die vor allem auf kapitalintensive Anlagen ausgerichtet sind und die auch dem vorliegenden Forschungsansatz der OLZK entsprechen.

Geissdörfer fiel auf, dass sich Modelle, die sich auf den Produktlebenszyklus ausrichten, vorwiegend als TCO-Modelle definieren, diejenigen mit Objekt Orientierung (Investitionsgüter) dagegen als LCC-Modelle. Dies deckt sich mit den Feststellungen von Weissenberger [20] (Kap.2.4.1) und den Autoren der vorliegenden Forschung.

Geissdörfer et al. kommen zum Schluss, dass die Komplexität der Modellvariablen zwischen den einzelnen Modellen zu gross ist für eine vergleichbare, praktische Anwendung. Die bereits erwähnte unterschiedliche Betrachtungsoptik der Modellautoren ist ei-

ner der Gründe. Gewisse Kriterien wie OEE, Einkauf, Transaktionskosten schliessen sich in den postulierten LCC- und TCO-Modellen praktisch gegenseitig aus. Das bestätigt den hier bereits in Kapitel 2.3.6 definierten Ansatz, **zukünftig klar zwischen „Objekt Lebenszykluskosten“ (OLZK) und „Produkt Lebenszykluskosten“ (PLZK) zu unterscheiden.**

Der Vergleich hat dagegen erbracht, dass die EN 60300-3-3 diejenigen Kriterien erfüllt, die für die Gestaltung des Life Cycle Management von Investitionsgütern entscheidend sind. Auch deckt sie mit ihren Hauptphasen: Entwurf und Entwicklung, Herstellung, Einbau, Betrieb und Instandhaltung, Entsorgung diejenigen Phasen ab, die zumindest für die Strasse selbst (Fahrbahn) massgeblich sind.

#### **Zusammenfassung**

Der Standardisierungsversuch von Geissdörfer bestätigt die Erkenntnisse der vorangegangenen Kapitel, dass zukünftig unterschieden werden muss zwischen

- Produkt Lebenszykluskosten (PLZK) und dem entsprechenden „Product Life Cycle Costing“ und
- Objekt Lebenszykluskosten (OLZK) und dem entsprechenden „Object Life Cycle Costing“

### **2.4.4 Differente Betrachtungen – Diskussion**

Für die Ansprüche des Strassenmanagement lassen sich aus den gewonnenen Erkenntnissen keine direkt umsetzbaren Resultate ableiten. Vier Erkenntnisse sind jedoch zentral und bilden die Grundlage für die weiteren, vertiefenden Betrachtungen:

1. Die Berechnung der Lebenszykluskosten ist nur dann sinnvoll, wenn sie auf der Basis des „Object Life Cycle Costing“ als Grundlage zur Gestaltung dient (Life Cycle Engineering). Analysen und Vergleiche sind Voraussetzungen dafür, aber kein eigenständiges Ziel.
2. Für Strassenverkehrsanlagen als hochwertige Wirtschaftsgüter ist der Begriff LCC auf der Basis des „Object Life Cycle Costing“ zu verstehen und anzuwenden.
3. Es ist zu prüfen, ob sich für Strassenverkehrsanlagen ein variables Modell – als quasi Standard – definieren lässt oder ob individuelle Modelle für die hauptsächlichsten Teilsysteme: Fahrbahn, Kunstbauten, Technische Ausrüstungen (BSA) zu empfehlen sind oder ein „sowohl als auch“.
4. LCC-Modelle sind Objekt orientiert. Ihre Betrachtungsweise ist primär betriebswirtschaftlicher Art. Das Strassenmanagement wird jedoch auch mit volkswirtschaftlichen Anliegen konfrontiert: Nutzerkosten und Kosten Dritter. Das führt zu unklaren Vermengungen und Entscheidungsprozessen. Hier ist zu prüfen, ob ein „WLC-Modell“ auf der Basis der ISO 15686-5 klarere Verhältnisse erbringt. Dabei würden die Betreiberkosten auf der LCC-Basis eine Untermenge der Gesamtbetrachtung, die die Nutzerkosten und Kosten Dritter einschliesst.

Über die begriffliche Festlegung hinaus stellt sich für den vorliegenden Forschungsansatz die Frage, nach dem geeigneten Modellansatz für den Gestaltungsprozess. Wie in den vorhergehenden Teilkapiteln extrahiert, können dazu nur diejenigen Modelle dienen, die eine aktive Gestaltung der Objekt Lebenszykluskosten auf der Basis des „Object Life Cycle Costing“ unterstützen.

Ein Blick auf bestehende Untersuchungen weist dabei auf die Arbeit von Mattes und Schröter (2011) [37]. Sie haben im Rahmen einer Kurzstudie der ISI des Fraunhofer Instituts über die „Wirtschaftlichkeitsbewertung der wirtschaftlichen Potenziale von energieeffizienten Anlagen und Maschinen“ mehrere in Frage kommende Modelle untersucht. Die Untersuchung bezieht sich zwar auf die Bedürfnisse in der deutschen Industrie, zeigt aber Ansätze die sich sinnvoll auf die Bedürfnisse der SVA'n übertragen lassen, insbesondere natürlich der BSA. Im Wesentlichen wurden dabei die Ansätze von Herrmann 2011, Denkena 2010 und Aurich 2009 verglichen – siehe nachfolgende Tabelle.

Ansatz	Beschreibung
[Hermann et al. 2011]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Simulationsmethodik zur dynamischen Berechnung von Lebenszykluskosten von Systemen/Komponenten aus ex-ante Sicht unter Berücksichtigung der effektiven (Rest-)Lebenszeit</li> <li>➤ Einsatz in Entwicklungs- und Nutzungsphase zur Ableitung von Anpassungen und Änderungen im Produktdesign zur Umsetzung energieeffizienter Maßnahmen bzw. von Wartungsstrategien</li> </ul>
[Denkena et al. 2010]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bewertung zukünftig anfallender Kosten und des erwarteten Nutzens auf Basis von Prozesskettensimulation</li> <li>➤ Quantifizierung von prozesstechnischen, technologischen und organisatorischen Kostenwirkungen</li> </ul>
[Aurich et al. 2009]	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Abschätzung der Lebenszykluskosten von neu zu implementierenden Fertigungsprozessen auf Basis vergleichbarer, bereits implementierter Fertigungsprozesse</li> <li>➤ Integrierte Betrachtung aus Hersteller- und Anwendersicht</li> </ul>

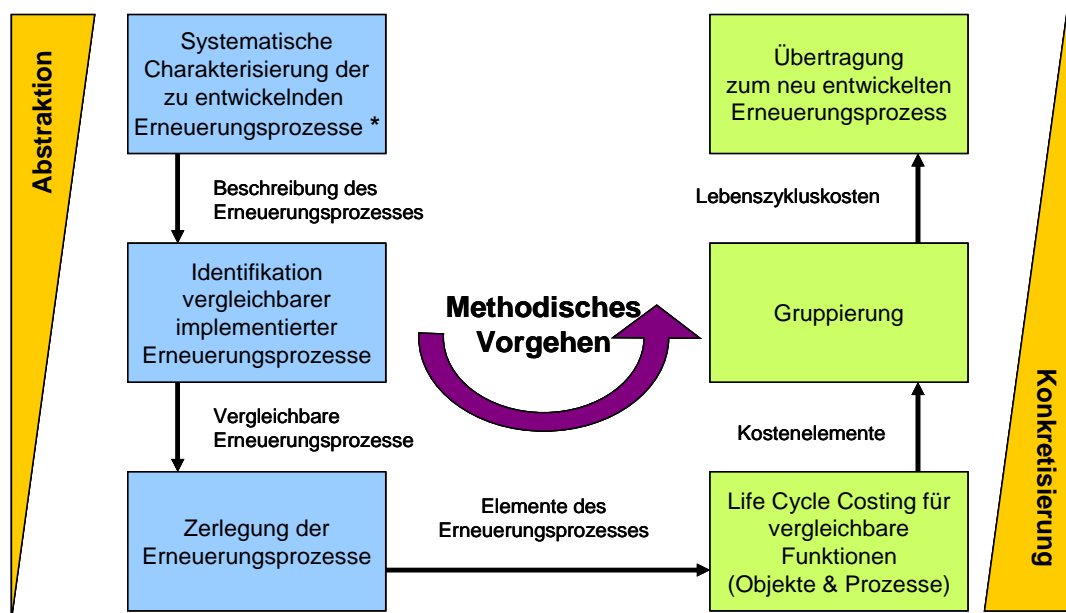
**Abb. 2-19:** Objekt-Lebenszykluskosten – Vergleich unterschiedlicher Bewertungsmodelle (Quelle: ISI Fraunhofer [37])

Die Simulationsmethodik von Herrmann et al. (2011) [38] errechnet die Lebenszykluskosten dynamisch aus der Ausgangssituation. Die Methodik ermöglicht die Bestimmung der tatsächlichen Restlebenszeit der Komponenten und ganzer Objekte. Systemveränderungen während der Nutzungsphase lassen sich erkennen. Dadurch lassen sich Instandhaltungsstrategien in der Technik bzw. Massnahmen des Erhaltungsmanagement im Strassenbau frühzeitig erkennen und vergleichen. Der Nachteil der Methodik liegt bei komplexen Zusammenhängen. Sie erschweren die Lösungsfindung überproportional.

Denkena et al. (2010) [39] zielen mit ihrem Methodenansatz direkt auf die komplexen Zusammenhänge des Investitionsentscheides. Dabei berücksichtigen sie in besonderem Masse die Prozesse, Technologien und Organisationsabläufe. Gebildet werden Simulationen der zu Grunde liegenden Geschäftsprozessketten, die den Vergleich komplexer Systeme ermöglichen und auch die Nutzenbewertung einbeziehen können. Das Verfahren wird auch als „Total Cost and Benefit of Ownership“ (TCBO) bezeichnet.

Aurich et al. (2009) [40] entwickeln eine systematische Methode zur Abschätzung der Lebenszykluskosten. Der Ansatz integriert sowohl die Hersteller- wie die Anwendersicht. Eine Betrachtungsebene die den realen Verhältnissen im Strassenmanagement entgegen kommt (Tiefbauämter als Entwickler, Ersteller, Betreiber und Erhalter). Das Verfahren erfordert allerdings ein grundlegendes Verständnis über die relevanten Teilprozesse, Das betrifft in besonderem Masse Fragen der Erhaltung und der technologischen Weiterentwicklung.

**Abb. 2-20** stellt die allgemeine Vorgehensweise zur Abschätzungsdauer der Lebenszykluskosten von Fertigungsprozessen dar.



\*) Erneuerungsprozess im Sinne von Erhaltungsmaßnahmen die einen neuen Betrachtungszeitraum und damit eine neue Nutzungsperiode auslösen (Erhaltungsmanagement bei Strassen)

**Abb. 2-20:** Modellierung – Abstraktion von Erneuerungsprozessen im Life Cycle Engineering; abgeleitet von Aurich (2009), angepasst an das Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen (Quelle: Aurich, adaptiert)

In vereinfachter Form lässt sich dieser Ansatz durchaus für die Anforderungen des Life Cycle Costing im Strassenmanagement weiter entwickeln.

Aus den vorgenannten Modellen und den Grundlagen speziell der Normen EN 60300-3-3 und EN 50126 haben Albrecht et al [41] ein Pyramidenmodell entwickelt. Das Modell ist besonders auf die strategische Festlegung in der Praxis des Object Life Cycle Costing ausgerichtet. Die einzelnen Stufen sind so ausgelegt, dass eine grösstmögliche Variabilität in den festzulegenden Indikatoren gewährleistet ist. Somit eignet sich das Modell als Praxisbezug in allen Bereichen des Objektmanagement: in Industrie und Technik, für Immobilien und in der gesamten Infrastruktur, damit auch für die Bedürfnisse der Strassenverkehrsanlagen. Die Modellierung in Kapitel 2.6 nimmt Bezug auf diesen Ansatz.

## 2.5 Methodenansatz

Das nachfolgende Kapitel setzt sich mit den Grundlagen des Life Cycle Costing auseinander. Dargestellt werden die Kostenelemente, Abhängigkeiten und Auswirkungen der Lebenszykluskosten. Die Auswirkungen zeigen sich vor allem im Verhältnis der qualitativen Aufwendungen bei den Investitionsmassnahmen, zu den daraus abzuleitenden Folgekosten während der Nutzungsphase der Objekte.

### 2.5.1 Abhängigkeiten der Lebenszykluskosten

Kapitel 2.3.4 zeigt, dass Sachanlagen Ressourcen von Wertschöpfungsprozessen sind und damit einer Unternehmensstrategie unterliegen. Dieser Strategie und den dafür zu Grunde liegenden langfristigen Unternehmenszielen ist die Auslegung und Bewirtschaftung der Sachanlagen verpflichtet.

Voraussetzung ist eine konsequente Einhaltung des Prinzips von „Ursache und Wirkung“ bzw. zwischen „Kunden und Lieferanten“. Ursache bzw. „Kunde“ ist hierbei der Wertschöpfungsprozess. Gedanklich sind hierfür „Kunde“ und „Lieferant“ strikt zu trennen. Wie in Kap. 2.3.4 und aus Abbildung 2.4 gesehen trägt die politische Exekutive die Verantwortung für den Wertschöpfungsprozess „Strassenverkehr“. Sie übt die Rolle des Kunden aus. Es lässt sich vorstellen, dass der Verantwortliche einer Wertschöpfungskette sämtliche Ressourcen zumietet, also auch die Sachanlagen. Das erfordert eine saubere Scharnierstelle und die eindeutige Definition der erwarteten Leistung seitens des „Kunden“, hinsichtlich Funktion, Verfügbarkeit, Dauerhaftigkeit, Qualität, Sicherheit und Kosten. Im Strassenwesen kommt dabei dem Betreiber – häufig Tiefbauämter – die Rolle des Lieferanten zu.

Das Kunden-Lieferanten-Prinzip wird nicht überall gleichermassen konsequent befolgt. Gerade im Bauwesen setzt sich diese Denkweise erst allmählich durch. In der gelebten Praxis fungiert die Exekutive nicht immer als Entscheidungsträgerin dieses Wertschöpfungsprozesses. Sie delegiert ihn häufig an ausführende Verwaltungsstellen. Strassenverwaltungen werden dadurch nicht selten zugleich in die Rolle des Auftraggebers und des Auftragnehmers versetzt. Auftraggeber in dem Sinne, dass ihre Beratungsfunktion gegenüber dem Entscheidungsträger (Exekutive) so weit geht, dass sie sämtliche verkehrstechnischen, infrastrukturellen, baulichen, kommerziellen, ökologischen und sozialen Vorgaben vorlegt. Der Entscheidungsträger delegiert daraufhin die Verantwortung wiederum zurück an die Strassenverwaltung. Es entsteht Selbstkontrolle. Ein Vorgang der unbedingt zu vermeiden ist. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Strassenverwaltung selber plant oder die Planung an Dritte vergibt.

Diese Selbstkontrolle führt häufig zu Rückkopplungen in den Geschäftsprozessen. Dadurch können Abhängigkeiten des „Wertschöpfungsprozesses Strassenverkehr“ vom „Objekt Strassenverkehrsanlage“ entstehen, anstatt umgekehrt. Es können sich Rahmenbedingungen und Vorgaben einstellen die sich nicht sauber abgrenzen, kontrollieren und steuern lassen. Dadurch werden Optimierungspotenziale hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Kosten vergeben. Ein Umstand der sich unmittelbar in den Lebenszykluskosten niederschlägt.

#### Vorgaben von Anforderungen und Zielen

Innerhalb eines funktionierenden „Kunden-Lieferanten-Prinzips“ definiert der Kunde seine Anforderungen und Ziele an die zu erstellenden, zu betreibenden und zu erhaltenden Objekte. Ziele sind dabei immer zu quantifizieren. Sie sind kontrollierbar, vergleichbar und steuerbar.

In der Privatwirtschaft werden Anforderungen und Ziele an die Ressourcen durch die Verantwortlichen für den Wertschöpfungsprozess definiert. Das sind die Unternehmer, die Aufsichtsorgane bzw. deren operative Vertreter in der Unternehmensführung. Das Pendant bei öffentlichen Institutionen entspräche der Legislative bzw. der Exekutive. In der Praxis sind diese Organe selten in der Lage, die erforderlichen Anforderungen selbstständig zu formulieren. Entsprechend ist diese Aufgabe durch sachverständige Fachleute im Sinne der politischen Auftraggeber zu erfüllen. Im Strassenmanagement werden diese

Fachleute häufig von den Betreibern („Lieferanten“) selbst gestellt. Dadurch wird das „Kunden-Lieferanten-Prinzip“ durchbrochen. Es können Interessenskonflikte entstehen (Selbstvorgaben und Selbstkontrollen). Diese sind durch klare Regelungen der Abläufe zwischen Vorgaben, Entscheid und Vollzug zu verhindern.

## 2.5.2 Betrachtungszeiträume und Nutzungsdauern

Eine massgebliche Rolle im Lebenszyklusmanagement spielt der Betrachtungszeitraum. In Kapitel 2.1 wurde darauf hingewiesen, dass für deren Definition und Festlegung in der Praxis und in der Literatur noch sehr unterschiedliche Ansichten bestehen.

### Einfacher Betrachtungszeitraum

Im Sinne der Betrachtung eines Objektes als Ressource eines Wertschöpfungsprozesses lässt sich der **Beginn des Betrachtungszeitraumes** jedoch klar definieren. Er beginnt mit den ersten Tätigkeiten nach Entgegennahme der Vorgaben des „Kunden“. In der Regel sind diese ersten Tätigkeiten konzeptionelle Überlegungen. Mit diesen werden praktisch auch die späteren Lebenszykluskosten zu über 90% entschieden. Gemäss Leistungsmodell SIA 112 [28] entspricht dies der Phase 1 „Strategische Planung“.

Eine gängige Argumentation besagt, dass auch bereits während der Gestaltung und Optimierung des Wertschöpfungsprozesses Überlegungen zu den Ressourcen - insbesondere den Objekten – gemacht werden. Das Argument ist grundsätzlich richtig. Im Sinne der Kostenwahrheit handelt es sich jedoch um Kosten die dem Wertschöpfungsprozess zuzurechnen sind. Im vorliegenden Fall bezieht sich der Wertschöpfungsprozess auf die Verkehrsplanung des Strassenverkehrs. Alle Elemente der Strassenverkehrsanlage inkl. der Fahrbahn sind Ressourcen in Form von Objekten für diesen Wertschöpfungsprozess. Die hier erwähnten Aufwendungen für Gestaltung und Optimierung entstehen vor der eigentlichen Konzipierung der Strassenverkehrsanlage und sollten keinen Eingang in die Berechnung der LZK finden.

Ein erster Fixpunkt für das **Ende des Betrachtungszeitraums** ist die Ausserbetriebsetzung des Objektes. Die Erfahrungen der Vergangenheit haben aber gezeigt, dass die verursachungsbezogenen Kosten des Objektes über diesen Zeitraum hinaus reichen. Es sind zwei Kategorien von Aufwendungen und deren Kosten, die den Lebenszykluskosten des Objektes anzurechnen sind:

- **Rückbau und Entsorgung des Objektes.** Hier können enorm hohe Kosten anfallen, vor allem wenn das Objekt durch Schadstoffe belastet ist und als Sondermüll entsorgt werden muss. Dies ist gerade bei Strassen häufig der Fall. Ein besonders krasses Beispiel ist der Rückbau und die Entsorgung von Kernkraftwerken. Hier zeigt sich die Bedeutung von Lebenszykluskosten in besonderem Masse. Ein Einbezug der Rückbau-, Entsorgungs-, Zwischen- und Endlagerungskosten hätte eine erhebliche Auswirkung auf die Strompreise.
- **Die Wiederherstellung des Urzustandes.** Dabei können hohe Kosten zur Schadstoffentsorgung (Dekontaminierung) und zur Renaturierung anfallen. Diese Kosten müssen fallweise ebenfalls dem Objekt oder dann dem Wertschöpfungsprozess angelastet werden.

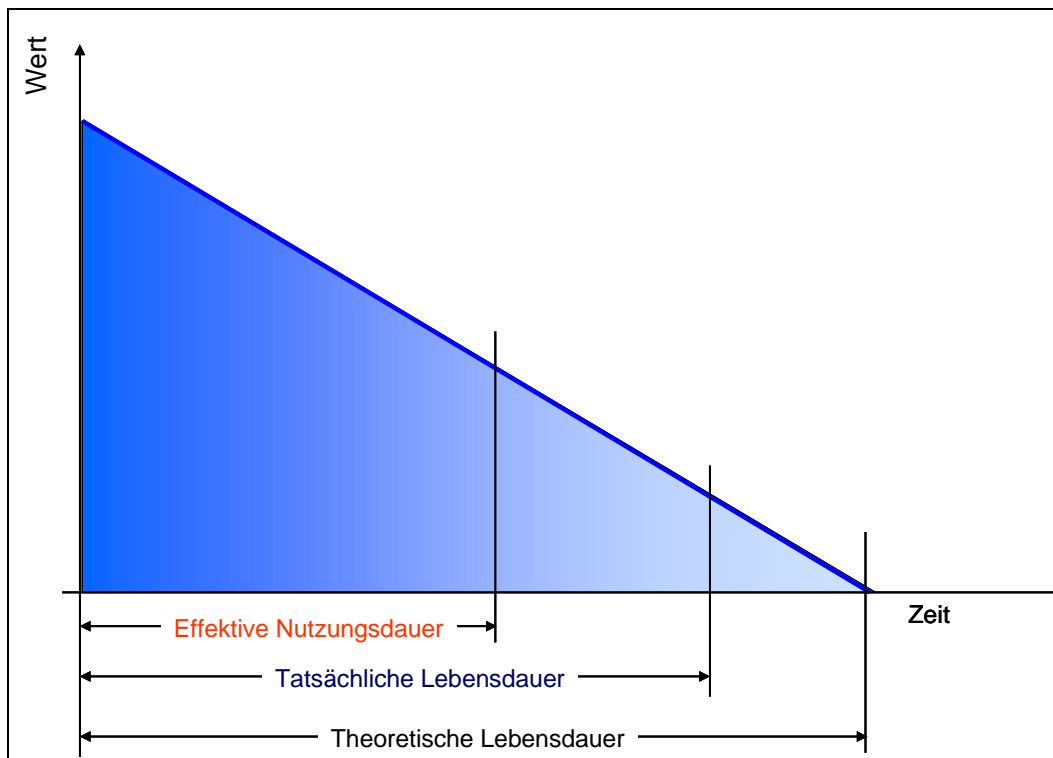
Häufig werden auch die Recyclingkosten der Materialien des Objektes zu den LZK gerechnet. Da es sich hierbei aber um die Aufbereitung neuer Rohstoffe handelt, sind diese Kosten im Sinne der Kostenwahrheit „neuen Rohmaterialien“ anzurechnen und nicht dem Objekt.

Der eigentliche Betrachtungszeitraum liegt zwischen den beiden Fixpunkten „Beginn“ und „Ende“. Er entspricht der effektiven Nutzungsdauer.

Die Wahl des Betrachtungszeitraumes hängt von mehreren verschiedenen Faktoren ab. Einerseits kann von Seiten des Auftraggebers ein fest definierter Betrachtungszeitraum vorgegeben sein. Andererseits kann der Wunsch bestehen, diesen zeitlich so lange wie möglich auszudehnen. Dabei begrenzt die theoretische Lebensdauer der wichtigsten Materialien des Objektes den Betrachtungszeitraum, bei Strassen könnte das beispielsweise die Tragschicht sein, bei BSA-Anlagen beispielsweise die Lebensdauer von Schaltele-



menten oder der gesamten Systemkonfiguration.



**Abb. 2-21:** Grundlage möglicher Betrachtungszeiträume – Vereinfachte Darstellung

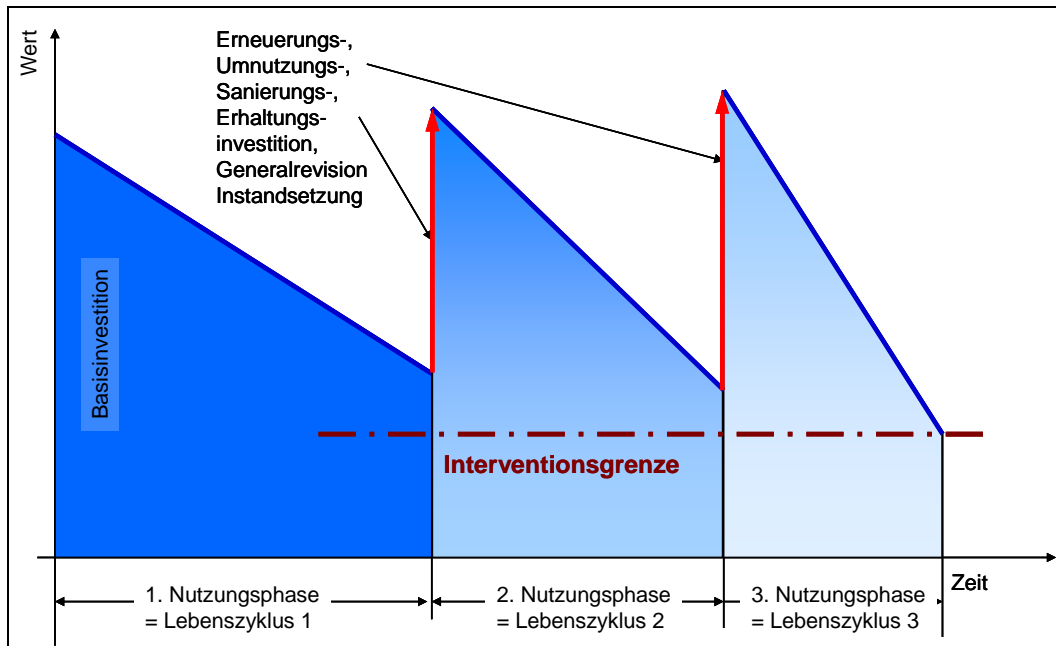
Zwischen theoretischer und tatsächlicher Lebensdauer technischer und/oder baulicher Komponenten können erhebliche Unterschiede bestehen – siehe unten. Die tatsächliche Lebensdauer kann kürzer oder länger als die theoretische sein. Häufig weicht aber die effektive Nutzungsdauer von der materiellen Lebensdauer der Objekte ab. All diese Faktoren haben Einfluss auf den Betrachtungszeitraum.

### Betrachtungszeitraum bei langlebigen Objekten

Viele Objektarten werden über sehr lange Zeiträume – über Jahrzehnte bis Jahrhunderte – genutzt. Dies trifft ganz besonders für bauliche Objekte zu und in besonderem Masse für Strassenverkehrsanlagen.

Bei dieser Kategorie lässt sich der Betrachtungszeitraum der Lebenszykluskosten nicht bis zum Rückbau festlegen. An dessen Stelle treten die Zeitpunkte grosser Erneuerungsmassnahmen. Alle technischen und baulichen Objekte unterliegen einer natürlichen – physikalisch und/oder chemisch orientierten – Abnutzung. Für deren Ursache gibt es je nach Objekttyp ganz unterschiedliche Gründe und Einflüsse, auf die hier im Allgemeinen nicht näher eingegangen wird.

Hat die Abnutzung einen bestimmten Grad erreicht und soll das Objekt weiter genutzt werden, sind umfangreiche Massnahmen zu ergreifen. Sie sollen dafür sorgen, dass das Objekt wieder annähernd seinen ursprünglichen Leistungsstandard erreicht. Im technischen Bereich wird von Generalrevisionen gesprochen, im baulichen von Instandsetzungen. Nach diesen Massnahmen beginnt ein neuer Betrachtungszeitraum, der bis zur nächsten Erneuerung dauert. Zu beachten ist, dass bei technischen Anlagen wie Maschinen, Fahrzeugen etc. sich die Nutzungsphasen in der Regel auf Grund technischer (Werkstoffermüdungen und ähnlichem) wie auch kommerzieller (Verfallungsrisiko von Ersatzteilen usw.) Einflüsse verkürzen. Bei baulichen Objekten wie der Fahrbahn der Strasse ist dies seltener der Fall, weil in der Regel bei einer Totalerneuerung ein nahezu kompletter Neuzustand entsteht.



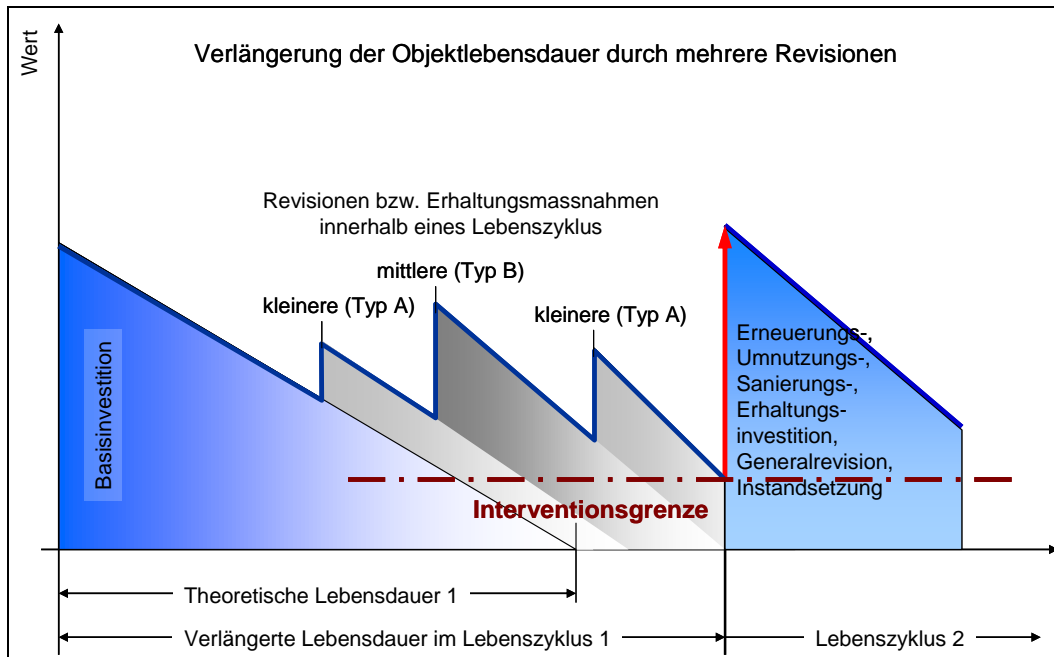
**Abb. 2-22:** Vereinfachte Darstellung mehrerer aufeinander folgender Nutzungsphasen

Die erwähnten Massnahmen müssen aber nicht ausschliesslich auf Abnutzungen zurückzuführen sein. Sie können auch von einer Reihe anderer Einflussgrössen ausgelöst werden: Modernisierung oder Erweiterung, Umnutzung oder Ergänzung, Teilersatz, veränderte Rahmenbedingungen unternehmerischer, politischer, gesetzlicher, juristischer, gesellschaftlicher, marktwirtschaftlicher, ökologischer, klimatischer oder sonstiger Art.

**Ein Betrachtungszeitraum** sollte EINE Nutzungsphase umfassen und definiert sich folglich als kostenaktive Zeitspanne zwischen:

- ersten konzeptionellen Überlegungen und der ersten umfassenden Erneuerungsmassnahme oder
- zwei umfassenden Erneuerungsmassnahmen oder
- den ersten konzeptionellen Überlegungen bzw. der letzten umfassenden Erneuerungsmassnahme und dem kompletten Rückbau

**Abb. 2-23** zeigt den Ablauf, wie er sowohl bei technischen wie auch bei baulichen Objekten mehrheitlich abläuft. Nach der Inbetriebsetzung erfolgen eine oder mehrere kleinere Revisionen/Instandsetzungen. Dabei wird nur ein Teil der gesamten Anlagen revidiert/erneuert/instandgesetzt. Bei der Strassenfahrbahn beispielsweise nur der Deckbelag. Mit der ersten Generalrevision/Totalerneuerung wird annähernd der Originalzustand wieder hergestellt. Selbstverständlich werden dabei auch die technologischen Weiterentwicklungen berücksichtigt, die zu Zusatzkosten und einem neuen „Originalzustand“ führen. Aus Gründen der Vereinfachung sollen diese bei diesem Beispiel unberücksichtigt bleiben, quasi in einer „black-box“.



**Abb. 2-23:** Lebensdauer eines Objekts ohne und mit Revisionen

Die Generalrevision/Totalerneuerung findet in den Industrieländern in der Regel vor dem Ablauf der technischen Lebensdauer statt. Eine mitteleuropäische Strassenverwaltung kann es sich kaum leisten, den Strassenzustand auf Stufe 5 abfallen zu lassen. Im Verlauf der zweiten Nutzungsphase wiederholen sich die kleineren Revisionen bis zur folgenden Totalerneuerung. Dieser Zyklus kann sich unter Umständen mehrfach fortsetzen. Bei Strassen ist dies häufig der Fall, geht doch das Originaltrasse vieler Strassenverbindungen Jahrhunderte zurück. Teilweise bis zur Römerzeit. Auch das totale Ende einer Strassen-trasse ist kaum vorhersehbar.



**Abb. 2-24:** Welche Zeitspanne umfasst der korrekte Betrachtungszeitraum bei extrem langzeitlichen Wirtschaftsgütern, wie Strassen?

### Lebensdauer

Es ist häufige Praxis, den Betrachtungszeitraum mit der „Lebensdauer“ des Objektes gleichzusetzen. Dies schlägt sich auch in der Mehrzahl der Modelle und der Literatur nieder. Gemeint ist die „technische Lebensdauer“. Darunter wird der Zeitraum verstanden, in dem ein technisches oder bauliches Objekt ohne komplettes Versagen bzw. ohne den Austausch von wesentlichen Kernkomponenten genutzt werden kann.

Unbeeinflusst von dieser Betrachtung bleiben die üblichen präventiven und korrektiven Instandhaltungsmassnahmen.

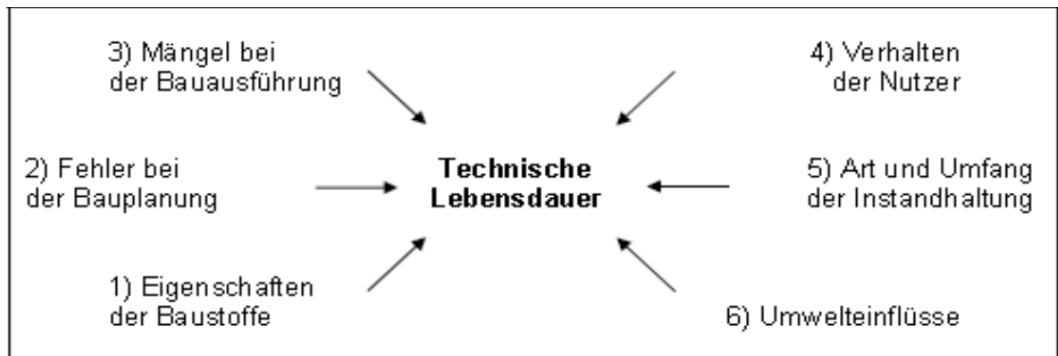
Je nach Art des Objektes begrenzen unterschiedliche Ereignisse und Kriterien die Lebensdauer. In der Regel unterliegen sie entweder physikalischen oder chemischen Einflüssen. Beispiele:

- Nicht reparabler Verschleiss mechanischer Bauteile
- Oberflächenabnutzungen (zum Beispiel Fahrbahnbeläge)
- Unbeabsichtigter Bruch wichtiger Bauteile
- Zerstörung durch korrosive oder thermische Einflüsse
- Ausfälle in elektrischen (z.B. Schaltvorgänge) oder elektronischen (z.B. Steuerungen) Komponenten usw.

Moderne Anlagen, speziell Maschinen, elektrische und elektronische Geräte werden häufig von Beginn an nur für eine bestimmte Lebensdauer geplant. Bei ihnen sind die Komponenten so ausgelegt, dass die Wahrscheinlichkeit für ihr Versagen nach dem Ende der geplanten Lebensdauer sehr stark ansteigt. Bekanntes Beispiel: Personalcomputer, insbesondere Laptops.

Bei vielen technischen Anlagen, aber auch bei gewissen baulichen Infrastrukturanlagen – zum Beispiel Deckbelag von Fahrbahnen – ist die technische Lebensdauer innerhalb eines bestimmten Toleranzbereiches vorhersehbar und auch planbar. Als Bemessungsgrösse dienen dazu Belastungsvorgänge. Die Berechnung der Lebensdauer bezieht sich auf die Anzahl Belastungsvorgänge. Je nach Häufigkeit der Belastungsvorgänge innerhalb einer bestimmten Zeitspanne (Stunde, Tag, Jahr) lässt sich so die gesamtzeitliche Lebensdauer errechnen.

Bei anderen Objekten berechnet sich die Lebensdauer beispielsweise durch die Intensität korrosiver Angriffe (Wetter, Chemikalien, Erhitzung usw.) auf die verwendeten Baustoffe. Zum Beispiel bei Gebäuden ( Fassaden, Dächer), Tanks, Heizkessel bzw. sonstige Öfen, Stahlkonstruktionen usw. Für den Baubereich definiert Kalusche [42] sechs Haupteinflüsse auf die Lebensdauer von Bauteilen:



**Abb. 2-25:** Einflüsse auf die technische Lebensdauer von Objekten und deren Elementen nach Kalusche (Quelle: Kalusche; Technische Lebensdauer von Bauteilen und wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Gebäudes)

### Nutzungsdauer

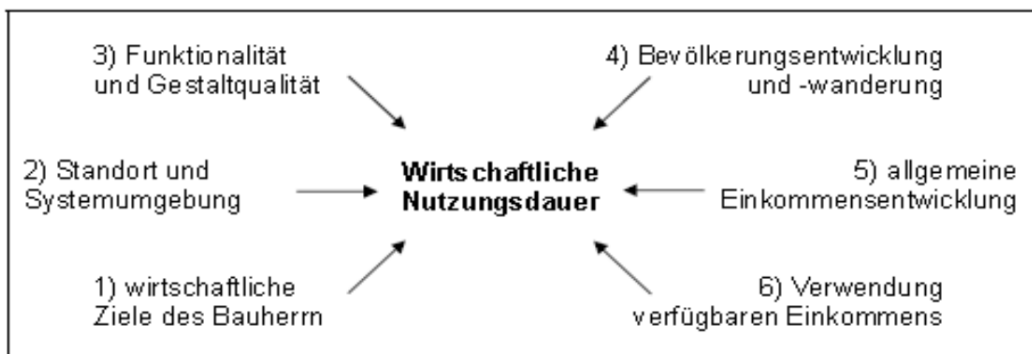
Nutzungsdauer ist diejenige Zeitspanne, in der ein Objekt tatsächlich unter betriebsmäßigen Bedingungen verwendet wird.

Die Nutzungsdauer hängt von sehr verschiedenartigen Einflussgrößen ab:

- Technischen Kriterien; Beispiel: Das Objekt erreicht seine Lebensgrenze (siehe oben)
- Wirtschaftliche Kriterien; Beispiel: Technisch nicht vorhersehbarer Verschleiss oder Häufung unvorhersehbarer Ausfälle machen eine Weiternutzung unwirtschaftlich; das Gesamtsystem wird irgendwann nicht mehr gebraucht
- Technologische Kriterien; Beispiel: Die technologische Weiterentwicklung macht einen Systemwechsel erforderlich, um konkurrenzfähig zu bleiben

- Systemabhängige Kriterien; Beispiel: Veränderungen im Gesamtsystem oder Portfolio zwingen zu Anpassungen abhängiger Objekte, beispielsweise durch Änderungen der Nutzungsdauer des Gesamtsystems
- Funktionale Kriterien; Beispiel: Die Funktionen der Anlage genügen veränderten Ansprüchen nicht mehr
- Kapazitive Kriterien; Beispiel: Veränderte Kapazitätsanforderungen verunmöglichen den wirtschaftlichen Weiterbetrieb der Anlage
- Marktwirtschaftliche Kriterien; Beispiel: Veränderungen am Markt bedingen neue Wertschöpfungsprozesse
- Unternehmerische Kriterien; Beispiel: Veränderungen der Unternehmenspolitik oder Unternehmensstrategie; dto. Politische Kriterien
- Gesetzliche, normative, rechtliche Kriterien; Beispiele: Das Inkrafttreten neuer bzw. verschärfter Gesetze, Verordnungen, Normen etc. zwingt zu Systemanpassungen
- Sicherheitstechnische, hygienische Kriterien; Beispiele: Die Anlage kann die Sicherheit oder Gesundheit der Umgebung gefährden
- Soziale Kriterien; Beispiel: Der Betrieb einer Anlage ist für Mitarbeitende nicht mehr attraktiv (Personalrekrutierung) oder ein Gebäude entspricht nicht mehr den Bedürfnissen und Ansprüchen der Bewohner
- Nutzungsziel: Das Objekt ist nur für eine definierte Nutzungsdauer vorgesehen (Start einer Rakete).

Die Beispiele zeigen, dass die Nutzungsdauer davon abhängt, wie lange ein Objekt dem Besitzer und/oder Betreiber Vorteile bringt, respektive wann die Nachteile gegenüber einem Systemwechsel überwiegen. Für die wirtschaftliche Nutzungsdauer definierte Kalusche [42] ebenfalls sechs Haupteinflüsse:



**Abb. 2-26:** Einflüsse auf die wirtschaftliche Nutzungsdauer von Objekten und deren Elementen nach Kalusche (Quelle: Kalusche; Technische Lebensdauer von Bauteilen und wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Gebäudes)

### Lebensdauer versus Nutzungsdauer

Lebensdauer und Nutzungsdauer stimmen selten miteinander überein.

Die technische Lebensdauer lässt sich nur schwerlich voraussagen. Sie errechnet sich in der Regel als statistischer Wert auf Grund einer Exponential- oder einer Weibull-Verteilung. Bekanntestes Beispiel ist die Lebensdauerberechnung von Leuchtmitteln. Anders als diese endet sie aber bei technischen und baulichen Anlagen selten mit einem „abrupten Tod“. Deshalb werden sie gelegentlich über ihre statistische Lebensgrenze hinaus betrieben. Sie erzielen dadurch zusätzlichen Deckungsbeitrag. Noch bis in die zweite Hälfte des letzten Jahrhunderts waren diese Fälle relativ häufig. Beispiel: In einem namhaften belgischen Technologiekonzern wurden noch in den 1970er Jahren Werkzeugmaschinen aus den 1890er Jahren über Transmissionen betrieben, da das bestehende Lohnniveau die Wirtschaftlichkeit eines kompletten Systemwechsels bis dahin verhindert hatte. [43]

In den Industrieländern dominieren heute meist die nicht-technischen Kriterien. Die effektive Nutzungsdauer erreicht folglich die technische Lebensdauer immer seltener. Dieser Umstand ist bei der Planung der Lebenszykluskosten zu berücksichtigen. Er hat auf diese einen erheblichen Einfluss.

Eine Berechnung der Nutzungsdauer unter Berücksichtigung der vielfältigen Einflussgrößen ist praktisch nicht möglich. Alle Bestrebungen sind auf eine möglichst plausible Annäherung angewiesen. Diese können auf Berechnungsverfahren beruhen, die sich auf hinreichend zuverlässige statistische Daten abstützen bzw. die mathematische Wahrscheinlichkeit abbilden.

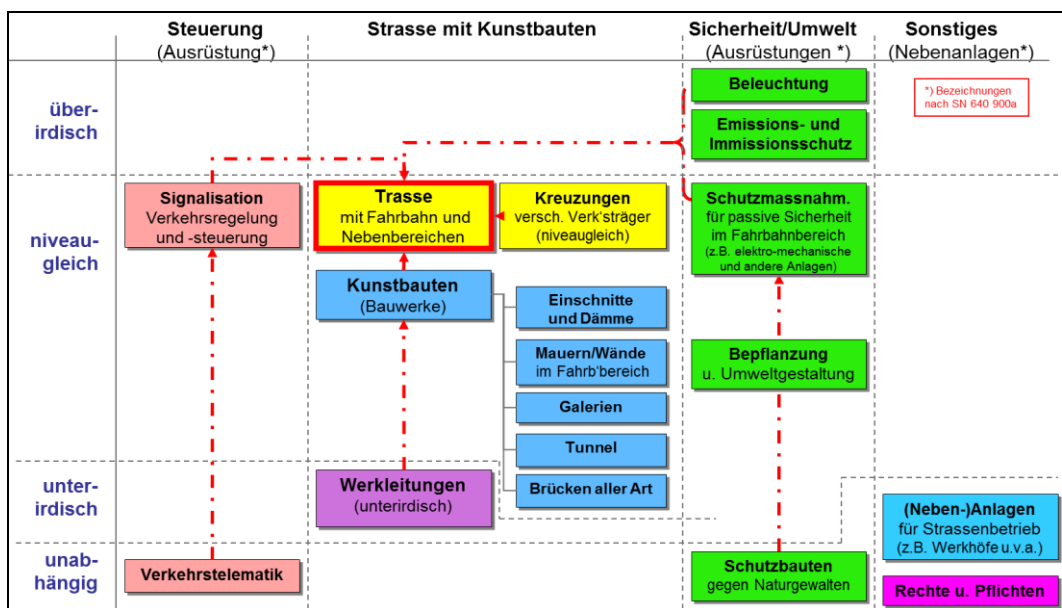
In vielen Fällen sind jedoch die empirischen Erfahrungswerte der für den Lebenszyklusprozess zuständigen planenden Personen ausreichend, um eine Annäherung an die Nutzungsdauer zu ermöglichen. Dies trifft umso mehr zu, je intensiver die Erfahrungen mit unkalkulierbaren Ereignissen sind.

**Prognose des Betrachtungszeitraums**

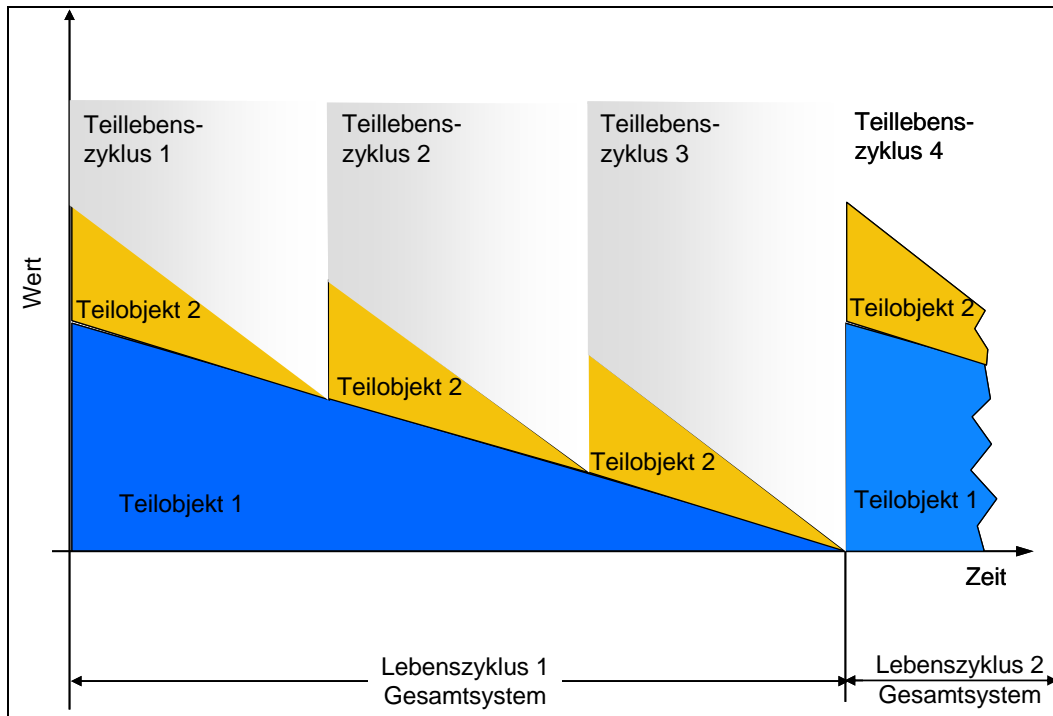
Auf Grund der Tatsache, dass Lebensdauer und Nutzungsdauer selten kongruent sind, ist die Festlegung des Betrachtungszeitraumes stark von der Nutzungsdauer abhängig. Strategische Nutzungsüberlegungen mit langfristigem Horizont (Politik-, Umwelt- und Markteinflüsse, absehbare Technologiesprünge, Betriebsveränderungen usw.) haben deshalb einen zentralen Stellenwert für die Prognose sowie Einfluss auf die Festlegung des Betrachtungszeitraums.

**Betrachtungsebenen**

Systeme setzen sich in der Regel aus mehreren Objekten zusammen. Diese wiederum aus oft zahlreichen Unterobjekten und Komponenten meist über mehrere Strukturebenen. Strassenverkehrsanlagen mit ihren Teilsystemen wie in der Norm SN 640 900 [60] beschrieben, zeigen dies besonders eindrücklich. Dabei ist die Abhängigkeit der Teilsysteme von der Fahrbahn sehr unterschiedlich. Elektromechanische Einrichtungen ausserhalb von Tunneln, Verkehrsstelematik und Schutzverbauungen haben eine relativ geringe Abhängigkeit von der Fahrbahn, unterirdische Systeme wie Werkleitungen dagegen eine erhebliche – **Abb. 2-27**. Es ist davon auszugehen, dass die verschiedenen Glieder unterschiedlichen Lebens- und/oder Nutzungsdauern unterliegen. Betrachtungszeiträume überlagern sich – **Abb. 2-28**. Eine Kernaufgabe im Life Cycle Management ist es, diese unterschiedlichen Zeiträume einander sinnvoll anzupassen, um kostspielige Überlagerungen in Form von Sonderabschreibungen zu vermeiden.



**Abb. 2-27: Glieder von Strassenverkehrsanlagen als Gesamtsystem (Quelle: Albrecht J.E. AG)**



**Abb. 2-28:** Überlagernde Betrachtungszeiträume unterschiedlicher Komponenten eines Objektes bzw. Systems (Quelle: Amt für Hochbauten der Stadt Zürich [44])

### 2.5.3 Verhältnis Investitionsmassnahme zu Folgekosten

Einen massgeblichen Einflussfaktor auf die Lebenszykluskosten stellt die Qualität der Erstellungsmassnahme bzw. Erhaltungs- oder Erneuerungsmassnahme dar.

In Kapitel 2.5.2 ist dargelegt, dass bestimmte Massnahmen an einem Objekt einen neuen Betrachtungszyklus auslösen. Das betrifft insbesondere grosse Revisionen (Technik) bzw. Instandsetzungen und Erhaltungs- und Erneuerungsmassnahmen (Bau), Erneuerungen, Erweiterungen, Umnutzungen usw. Sie bedingen grössere Investitionen und sind auf die gleiche Stufe wie Neuinvestitionen zu setzen. Um im folgenden Text nicht ständig alle Varianten zu wiederholen, die eine Investition im Sinne eines erneuten Betrachtungszyklus auslösen, wird im Folgenden vereinheitlichend der Begriff „Investitionsmassnahme“ verwendet.

Bei Investitionsmassnahmen von Objekten ist davon auszugehen, dass sie auf das dem Nutzungsziel entsprechenden Anforderungsprofil hin optimal ausgelegt werden. Optimale Auslegung im Sinne der LZK bedeutet, dass sämtliche kostenwirksamen Massnahmen während des Betrachtungszeitraumes gebührend berücksichtigt sind. In der Praxis ist dies häufig nicht der Fall.

Zur Gewährleistung des Anforderungsprofils ist ausserdem eine bestimmte Qualität der Investitionsmassnahme Voraussetzung. Die Qualität hat im Allgemeinen einen direkten Einfluss auf die Investitionskosten:

- steigende Qualität = höhere Investitionskosten
- sinkende Qualität = tiefere Investitionskosten

Es gilt zu beachten, dass der Umkehrschluss: „Höhere Investitionskosten bedeuten zwangsläufig höhere Qualität“ nicht zutreffend ist!

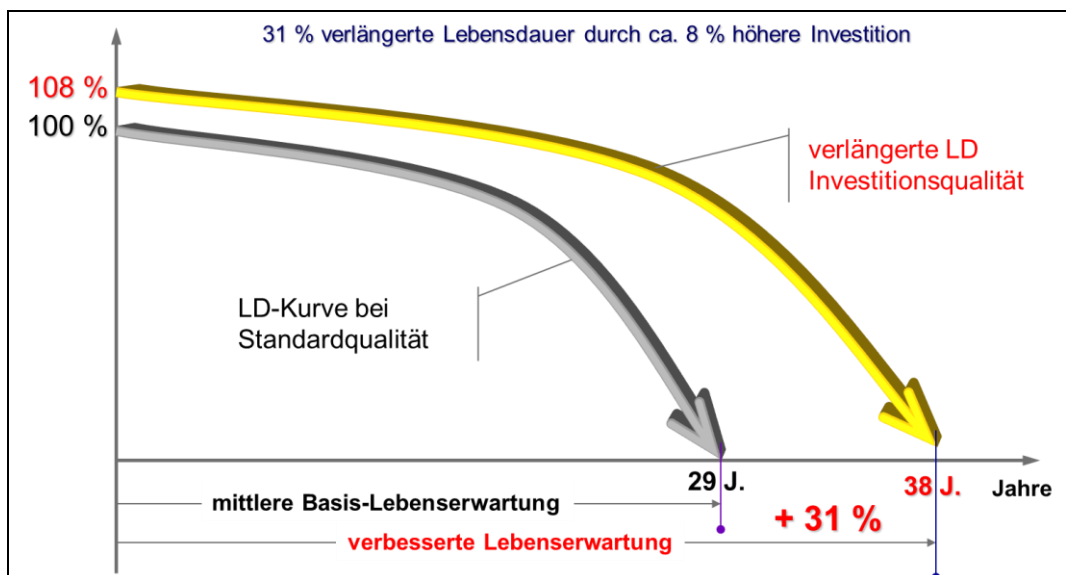
Investitionsmassnahmen unterliegen in der Regel einem Ausschreibungsverfahren. Unter der Voraussetzung, dass die Ausschreibungstexte so formuliert sind, dass die Angebote auf gleichen Inhalten, Materialien und Prozessen basieren und die Anbieter ein vergleichbares Qualitäts- und Preisniveau haben, müssten sich die Angebote in einem an-

gemessenen Toleranzrahmen bewegen. Diese Voraussetzungen werden nicht immer erfüllt. Verbreitete Praxis ist es, Leistungsverzeichnisse – so genannte „Devis“ - mengenorientiert anstatt qualitätsorientiert zu erstellen. Daraus resultiert der Druck den „Preis je Mengeneinheit“ so tief wie möglich anzusetzen. Die ebenfalls verbreitete Praxis den Auftrag an einen Bieter mit einem der tiefsten Angebotspreise zu erteilen, verleitet zu immer tieferen Angebotspreisen. Sobald eine natürliche Untergrenze unterschritten wird, geht dieses Vorgehen zu Lasten der Qualität. Als Folge steigen die Kosten während der Nutzungsphase. Diesem Risiko wird mit einem Ausschreibungsverfahren, das die tiefsten Lebenszykluskosten zum Ziel hat entgegen gewirkt.

In Kapitel 2.3.2 ist dargelegt, dass erste Ansätze des Life Cycle Costing bis in die 1930er Jahre zurück reichen. Dennoch beginnt sich die Methodik erst in den letzten Jahren allmählich auf breiterer Ebene durchzusetzen. Das bedeutet, dass über Jahrzehnten, bis zum heutigen Zeitpunkt Investitionsmassnahmen nach möglichst tiefen Angebotspreisen beurteilt und vergeben wurden. Das hat zur Folge, dass die Folgekosten für Betriebsweise, Energieaufwand, Instandhaltungsmassnahmen, Nicht-Verfügbarkeit, Management, Ausserbetriebnahme, Rückbau usw. die Kosten der Investitionsmassnahmen um ein mehrfaches übersteigen können. Dies gilt für praktisch alle Bereiche: Technische Anlagen, Immobilien und Infrastrukturen; wie mehrere Untersuchungen und Studien belegen, unter anderem Albrecht et al (2002) [45], Abele et. al (2010) [46], Herzog (2005) [47], Korpi et al (2008) [48], Kuhrke et al. (2010) [49], Lauven et al (2010) [50], Potthoff (2011) [51], Schröter et al (2011) [52].

Umgekehrt zeigt sich, dass eine Qualitätssteigerung bei Investitionsmassnahmen sich in den meisten Fällen günstig auf die Folgekosten auswirkt. Schon geringe Mehrkosten zu Gunsten der Qualität bei den Investitionsmassnahmen lassen die Folgekosten meist überproportional sinken.

Bei einem Geschäftshochhaus in Zürich wurde 2003 ein Vergleich der Lebenserwartungen der massgeblichsten Komponenten mit drei ähnlichen in- und ausländischen Hochhäusern durchgeführt [53]. Dabei hat sich herausgestellt, dass eine geringfügige Investitionserhöhung von ca. 8% die mittlere Lebensdauer der Komponenten um über 30% verlängert hat, wie **Abb. 2-29** zeigt.

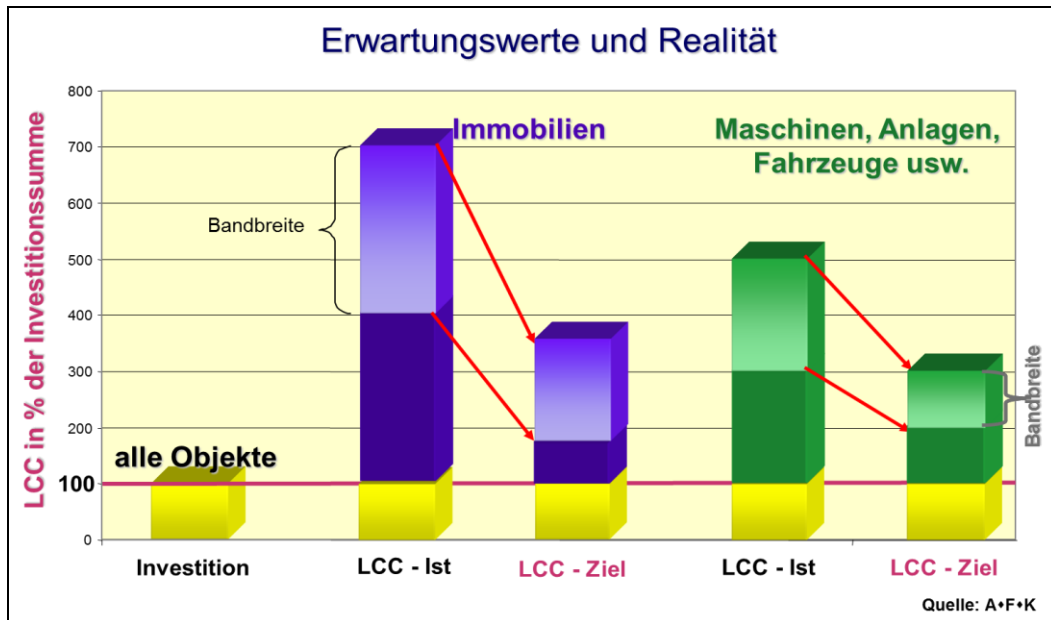


**Abb. 2-29:** Qualitätseinfluss auf die Lebensdauer, am Beispiel eines Geschäftshochhauses in Zürich (Quelle: AFK-Management)

Eine Untersuchung der AFK Management Partners [45] von 2007 bestätigt ebenfalls den Einfluss der Qualität der Investitionsmassnahmen auf die Folgekosten. Untersucht wurden vor allem in Europa realisierte Projekte einerseits bei Immobilien, andererseits bei vorwiegend industriellen technischen Anlagen und Fahrzeugen. Betrachtet wurde das



Verhältnis von Investitionskosten zu Folgekosten. Dabei wurde die Höhe der Investitionskosten jeweils mit 100% angegeben. Analysiert wurden die Verhältnisse von Investitions- und Folgekosten auf die gesamten Lebenszykluskosten vor (Ist) und nach den Verbesserungsmaßnahmen (Ziel). In **Abb. 2-30** sind die Ergebnisse wiedergegeben. Abhängig von Art und Komplexität der Gebäude veränderte sich das Verhältnis bei Immobilien von 1:3 bis 1:6 (Bandbreite) auf 1:0.8 bis 1:2.5. Bei den technischen Anlagen veränderte sich das Verhältnis von 1:2 bis 1:4 auf 1:1 bis 1:2. Mangels genügend aussagekräftiger Daten konnte ein Vergleich für Infrastrukturanlagen nicht durchgeführt werden. Jedoch lassen die Erfahrungen auf ähnliche Auswirkungen schliessen.



**Abb. 2-30:** Vergleich von Ist- und Erwartungswerten der Relation von Investition und Folgekosten bei Immobilien und Technischen Anlagen (Quelle: Studie AFK-Management)

In **Abb. 2-31** ist der Verlauf der Lebenszykluskosten – hier als TCO bezeichnet – für zwei Produktionsmaschinen mit gleichem Verwendungszweck abgebildet [54]. Bei einer Maschine wurden die Kosten der Investitionsmassnahmen – hier als Beschaffungskosten bezeichnet - minimiert (als „Low-Cost Maschine“ bezeichnet). Die zweite Maschine wurde für minimale Lebenszykluskosten konzipiert (als sogenannte „Low-TCO Maschine“ bezeichnet). Die Kosten der Investitionsmassnahmen sind bei der „Low-TCO Maschine“ ca. 40% höher als bei der anderen Anlage. Dagegen übersteigen die Folgekosten der „Low-Cost Maschine“ diejenigen der „Low-TCO Maschine“ um das 2.5-fache. Die gesamten Lebenszykluskosten der „Low-TCO Maschine“ betragen nach 10-jährigem Einsatz nur 2/3 derjenigen der „Low-Cost Maschine“. Das Beispiel der ProWerk GmbH bestätigt die Werte der Studien von AFK Management Partners.

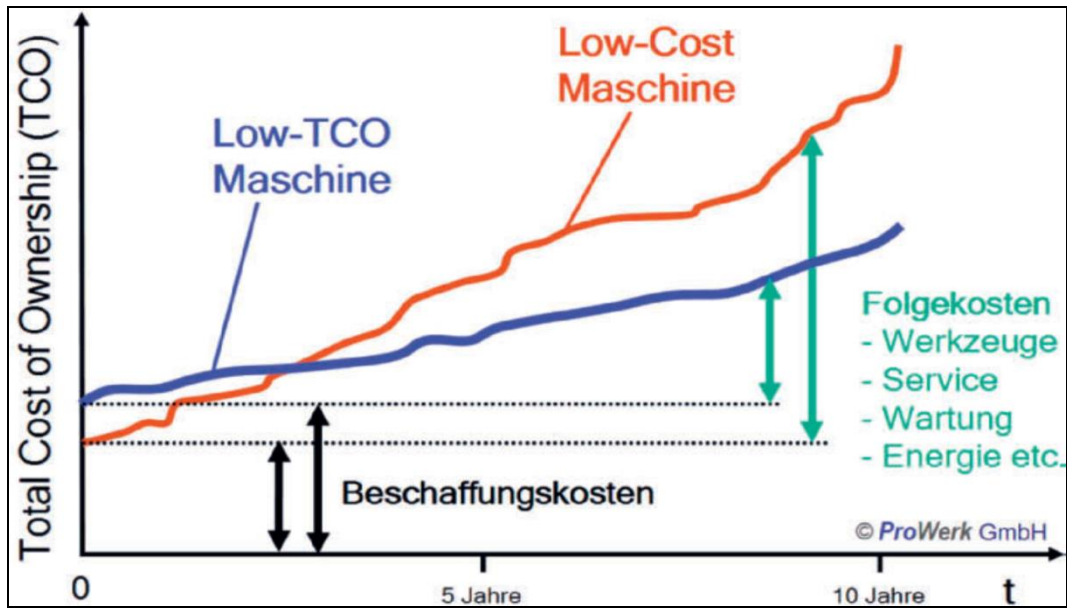


Abb. 2-31: Nutzenvergleich des Life Cycle Engineering an einem Beispiel aus Produktion und Technik<sup>2</sup> (Quelle: ProWerk GmbH [54])

Diese und viele weitere Beispiele zeigen, dass die Lebenszykluskosten beeinflusst werden durch die Qualität der Investitionsmassnahmen. Deren Steigerung führt mehrheitlich zu deutlich tieferen LZK. Eine Zusammenfassung der bisher publizierten Erfahrungswerte kommt zu dem Schluss, dass sich die Lebenszykluskosten bei einer konsequenten Berücksichtigung während der Konzeptphase gegenüber der traditionellen Praxis im Mittel um rund ein Drittel reduzieren lassen (vgl. Abb. 2-32) [45].

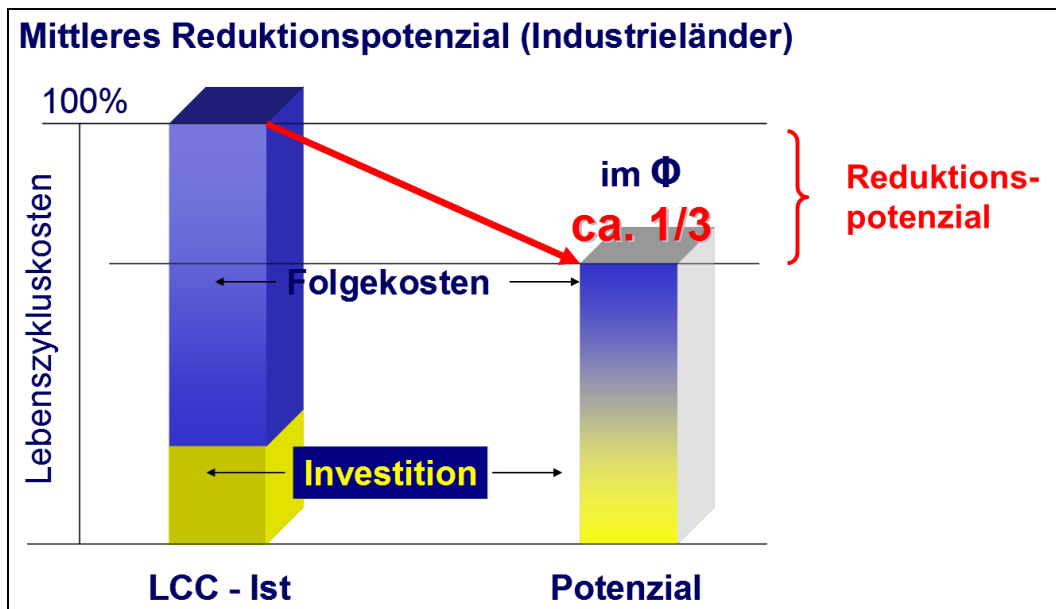


Abb. 2-32: Optimierungspotenzial der Lebenszykluskosten technischer und baulicher Anlagen in den Industrieländern (Quelle: Studie AFK-Management)

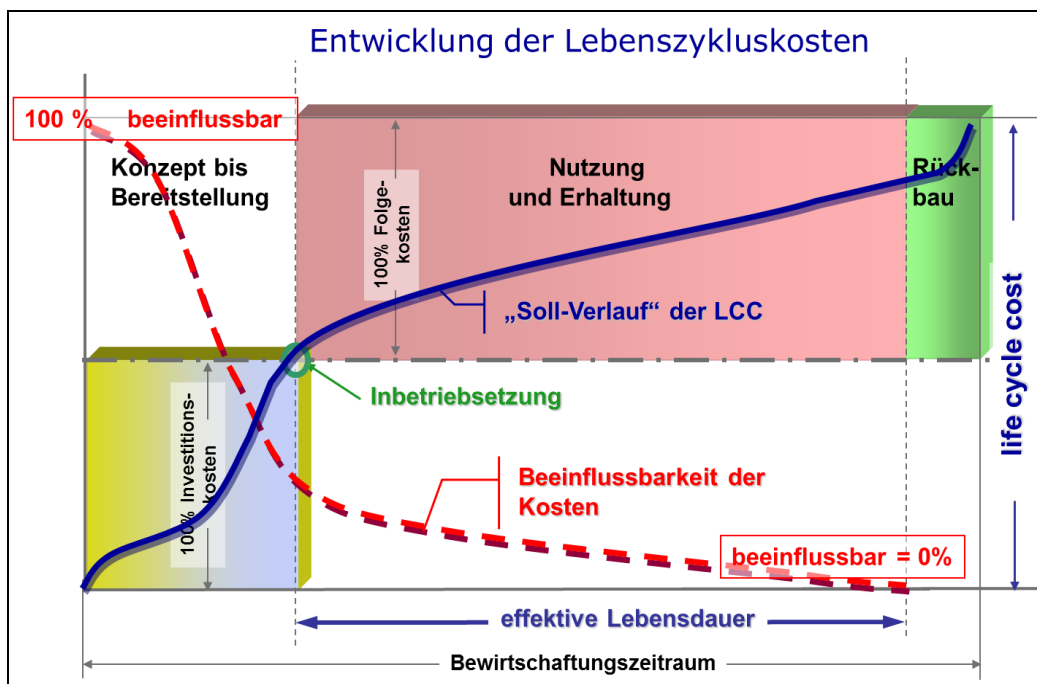
<sup>2</sup> Der Begriff „TCO“ steht so im Original. Im Sinne der vorliegenden Studie wäre der Begriff Objekt Lebenszykluskosten angebracht.

## 2.5.4 Beeinflussung der Lebenszykluskosten

Entscheidend für das **Life Cycle Costing** ist der Zeitpunkt der Kostenbeeinflussung. Tatsache ist, dass die LZK bereits in der frühen Planungsphase entscheidend festgelegt werden. Nach Inbetriebnahme der Objekte, Anlagen und Systeme sind nur noch marginale Veränderungen des Kostenverlaufs möglich. Das gilt selbst dann, wenn während der Nutzungsphase erfolgreiche Verbesserungsmaßnahmen in der Instandhaltung, beim Energieverbrauch oder der Betriebsführung der Anlage realisiert werden können. Diese Verbesserungen wirken sich selbstverständlich auf den aktuellen Kostenverlauf und die Betriebsrechnung aus. Auf die gesamten LZK haben sie in der Regel nur einen relativ geringfügigen Einfluss

Zahlreiche Untersuchungen und Praxisberichte – unter anderem Albrecht (1998) [55], Bescherer (2005) [58]; Korpi, Ala-Risku (2008) [48]; Lindholm, Suomala (2005) [59] zeigen auf, dass zum Zeitpunkt der Inbetriebsetzung einer Anlage zwischen 75 – 90% der LZK bereits festgelegt sind. Das bedeutet, dass die Gestaltung des Life Cycle Costing so früh wie irgend möglich anzusetzen ist, um die gesamte Konzeption, das Design und das Engineering auf die Minimierung der Lebenszykluskosten auszurichten.

Idealerweise ist das Life Cycle Engineering unmittelbar mit der Konzeptphase des Leistungsmodells nach SIA 112 [28] verbunden, entsprechend den Teilphasen 11 „Bedürfnisformulierung, Lösungsalternativen“ und 21 „Produktdefinition, Machbarkeitsstudie“. Hier werden die LZK zu nahezu 100% gestaltet. Die **Abb. 2-33** zeigt die Zusammenhänge und praktische Ergebnisse auf.



**Abb. 2-33:** Zusammenhänge zwischen dem Verlauf der Lebenszykluskosten und der Kostenbeeinflussung (Quelle: AFK Management Partners)

### 2.5.5 Gesamtanlageneffektivität – OEE

In den zahlreichen erschienen Publikationen zum Life Cycle Costing wurde ein wichtiges Thema bisher nur in vereinzelt technischen Modellen und Standards (vgl. Kapitel 2.4.3) angesprochen: Die Wechselwirkung zwischen den Lebenszykluskosten und der **Gesamtanlageneffektivität** – englisch: **Overall Equipment Effectiveness – OEE**. Im Zusammenhang mit Lebenszykluskosten wird landläufig von Optimierung geredet, was an sich falsch ist. LZK können nur verändert (verringert oder vergrößert) werden. Ein Optimierungsvorgang findet hingegen zwischen den Lebenszykluskosten und der Anlageneffektivität statt.

Die Effektivität resultiert aus dem Verhältnis zwischen aktueller und theoretischer Leistungsfähigkeit. Sie wird bestimmt durch den Vergleich was ein Prozess leisten könnte und was er aktuell leistet. Beispielsweise die Stückzahl, die eine Maschine während eines gesamten Jahres = 8760 Stunden produzieren könnte und was sie in einem einschichtigen Betrieb tatsächlich produziert oder der maximale DTV einer Strasse verglichen mit dem aktuellen.

Die Gesamtanlageneffektivität bildet eine Kennzahl als Mass für die Wertschöpfung einer Anlage. Sie ist ein Produkt der drei Faktoren: Verfügbarkeitsfaktor, Leistungsfaktor und Qualitätsfaktor. OEE wird sowohl als Faktor angegeben, mehrheitlich jedoch als effektiver Prozentwert. **Abb. 2-34** zeigt die Zusammenhänge auf.

$OEE = \frac{B}{A} \times \frac{D}{C} \times \frac{F}{E} \times 100 (\%)$				
Verfügbarkeit [V]      Leistung [L]      Qualität [Q]				
Verfügbarkeit	Kalenderzeit (365 d x 24 h = 8'760 h)			
	A	Mögliche Betriebszeit	geplante Nicht Verfügbarkeit	
	B	Tatsächliche Betriebszeit	Ausfälle	
Leistung	C	Theoretischer Durchsatz	Verfügbarkeitsverluste	
	D	Tatsächlicher Durchsatz		Leistungsverluste
Qualität	E	Tatsächlicher Durchsatz		Leistungsverluste
	F	Fehlerfreie Menge		
		Qualitätsverluste	Effizienzverluste	

**Abb. 2-34:** Bemessungsfaktoren der Gesamtanlageneffektivität (OEE)

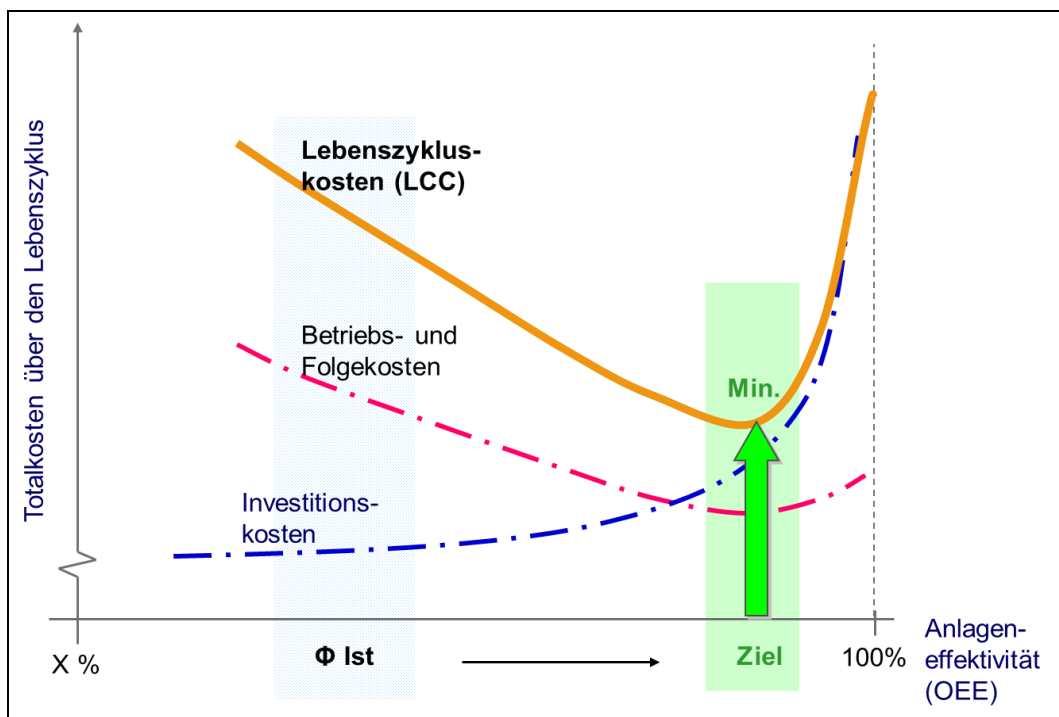
Die Gesamtanlageneffektivität ist zu einem zentralen Bemessungsfaktor produktiver Leistungen geworden und aus der Produktionswirtschaft nicht mehr wegzudenken. Für die Beurteilung von Strassen wird das OEE nicht angewendet. Parallelen lassen sich jedoch durchaus ziehen, wie die Kriterien in untenstehender Tabelle aufzeigen (vgl. auch Kapitel 4.2.3).

Begriffe in Abb. 2-34	Produktionskriterien	Kriterien bei der Strasse
Geplante Nicht-Verfügbarkeit	Geplante Nicht-Produktion z.Bsp. bedingt durch die festgesetzte Arbeitszeit von 40 Std/W	Nicht-Verfügbarkeit z.Bsp. durch reguläre Schliessung von Passstrassen im Winter
Ausfälle	Produktionsstillstände durch unvorhergesehene Ausfälle: Defekte, Reparaturen, fehlendes Material, Krankheit, Streiks usw.	Blockaden durch Naturereignisse oder Schliessung im Rahmen einer Grossbaustelle, Störungen usw.
Leistungsverluste	Kurzstillstände der Maschine, reduzierte Maschinenleistung usw.	Reduzierter Durchsatz in Folge von Baustellen, Unfällen, Winterdienst usw.
Qualitativ bedingte Einbussen	Ausschuss, Nacharbeit usw.	Zustandsbedingte Kapazitätseinschränkungen z.Bsp. Fahrbahnschäden, Verschmutzung usw.

**Abb. 2-35:** OEE Kriterienvergleich zwischen Produktion und Strasse

Eine grössere Bedeutung als bei der Fahrbahn hat die Bemessung der Gesamtanlageneffektivität jedoch bei den technischen Anlagen (BSA) einer Strassenverkehrsanlage und auch für Kunstbauten wie Tunnel und Brücken erscheint sie sinnvoll.

Ziel der Gesamtanlageneffektivität ist es, einen möglichst hohen Auslastungsgrad im Vergleich zur möglichen Betriebszeit A zu erreichen. Diese Forderung korreliert mit dem Wunsch nach minimalen Lebenszykluskosten. Ein strategisches Life Cycle Management greift diese beiden Forderungen auf und führt sie zu einem Gesamtoptimum (vgl. **Abb. 2-36**).



**Abb. 2-36:** Optimierung zwischen Lebenszykluskosten und Anlageneffektivität (Quelle: ALM)

Bedeutsam für einen hohen Auslastungsgrad ist die Reduktion der Leistungsverluste und der qualitätsbedingten Einbussen. Massgeblich dafür sind die Qualitätsfaktoren, besonders im Rahmen der Instandhaltung bzw. der Erhaltungsmaßnahmen – vgl. Kapitel 2.6.3. Die Häufigkeit der Ausfälle die zu den Leistungsverlusten führen, können beispielsweise durch Redundanz, höherwertige Bauteile oder häufigeren präventiven Unterhalt reduziert werden.

## 2.5.6 Nachhaltige Anforderungsprofile

Lebenszykluskosten stellen an sich eine neutrale Kostengrösse dar. Die heutige intensive Betrachtung und Gestaltung der LZK steht jedoch in enger Verbindung zu der Forderung nach nachhaltigen Produkten und Leistungen. Neben der sozialen und ökologischen Komponente der Nachhaltigkeit fördern optimal gestaltete LZK den ökonomischen Anspruch. Verbunden mit der Optimierung der Gesamtanlageneffektivität haben sie einen fundamentalen Einfluss auf die Werterhaltung der Objekte.

Um die Lebenszykluskosten in diesem nachhaltigen Sinne bestimmen zu können, sind fundamentale Voraussetzungen zu gewährleisten:

- Transparente Daten
- Kostenträger orientierte Datenzuordnung
- Vereinbartes Berechnungsverfahren
- Vorgegebene, überprüfbare Ziele
- Bekannte Rahmenbedingungen und Strategie
- Festgelegte „Spielregeln“
- Klare Entscheidungsstrukturen (Funktion – Kompetenz – Verantwortung)

Voraussetzung dafür ist die Einhaltung elementarer Prinzipien der Projektsteuerung:

- Kunden-Lieferanten-Prinzip: Die öffentlichen Entscheidungsträger vertreten die Kundeninteressen (Öffentlichkeit); die Strassenverwaltungen sind Lieferanten
- Ziele des Leitprozesses bestimmen die Massnahmen – im vorliegenden Falle bestimmt das ausgewiesene Mobilitätsbedürfnis an Strassenverkehr die Qualität und die Quantität (Kapazität) der Strassenverkehrsanlagen
- Quantifizierte Ziele anstatt allgemeine Erwartungen: Zielvorgaben sind nur dann kontrollier- und steuerbar, wenn sie auch messbar sind. Sie drücken sich in einer Zahl aus.
- Zielvorgaben von oben nach unten: Die einzuhaltenden Ziele sind zwingend vom Kunden zu formulieren. Fachgremien sollen sich auf eine beratende und allenfalls empfehlende Ebene beschränken
- Eindeutige, messbare Vorgaben (Nutzung, Leistung, Qualitätsparameter und ähnliche)
- So gut wie nötig, so wenig wie möglich

## 2.5.7 Kostenelemente der LZK

Lebenszykluskosten sind die Summe aller während eines Lebens- bzw. Nutzungsabschnittes auflaufenden Kosten, die sich unmittelbar auf das Objekt selbst beziehen und durch dieses direkt verursacht werden – vergleiche Kapitel 2.1. Nicht zu den eigentlichen LZK sind diejenigen Kosten zu rechnen, die sich aus dem Wertschöpfungsprozess selbst ergeben. Das heisst, nicht der Verformungsvorgang eines Werkstücks ist Grundlage der OLZK sondern nur dessen Mittel. Beispiel: Eine Kardanwelle kann auf ganz verschiedene Arten hergestellt werden, beispielsweise durch Feingiessen, durch Senkschmieden, durch Span abhebende Bearbeitungen oder durch andere Herstellungsprozesse. Gegenstand des Object Life Cycle Costing sind aber nicht die differenten Herstellungsprozesse sondern deren Produktionsmittel: die Giessanlagen, die Schmiedepressen oder die Werkzeugmaschinen. Da das Bearbeitungspersonal in direktem Zusammenhang mit dem Herstellungsprozess steht, sind deren Kosten folglich diesem zu belasten und nicht dem Produktionsmittel.

Bei der Strassenverkehrsanlage bezieht sich diese Fragestellung nicht auf Mitarbeitende. Personal wird zwar für den betrieblichen und baulichen Unterhalt benötigt (LZK wirksam), nicht jedoch für den eigentlichen Betrieb. Mitarbeitende einer Verkehrsleitstelle sind kostenmässig dagegen nicht der SVA sondern dem Verkehrsprozess zu belasten.

### Kostenabgrenzung

Es geht bei den LZK um das ausgewählte Objekt eines Wertschöpfungsprozesses und nicht um dessen Anwendungsverfahren. (Sinnbildlich wären Strasse und Schiene zwei mögliche Objekte des „Wertschöpfungsprozess Landverkehr“ – Kap 2.3.4) Der wirtschaftliche Verfahrensvergleich findet auf einer anderen Ebene durch klassische Formen der Wirtschaftlichkeitsvergleiche und Kosten-Nutzen-Vergleiche statt. Selbstverständlich können diese Verfahrensvergleiche nur dann vollkommen und objektiv stattfinden, wenn die LZK sämtlicher Objekte der zu vergleichenden Verfahren bekannt sind. Gegenüber dem Wertschöpfungsprozess verhalten sich die LZK des Objektes wie eine Kostenstelle zum Kostenträger.

Bezogen auf das Strassenmanagement bedeutet das, dass nur die Strasseninfrastruktur an sich als Kostenstelle fungiert, nicht jedoch die Verkehrsmittel (Fahrzeuge). Sie repräsentieren im Grundsatz eigene Kostenstellen.

Nicht den LZK zuzurechnen sind dauerhafte Güter, die dem Objekt zur Verfügung gestellt werden. Primär fallen darunter Grundstücke. Auch das Recyclen von Wertstoffen gehört entgegen anderslautenden Meinungen nicht zu den LZK. Das Recycling ist der Beschaffung und Aufbereitung von Rohstoffen gleichzusetzen.

### Opportunitätskosten

Einen Grenzfall des Life Cycle Costing stellen die Opportunitätskosten in Form von Produktionsausfällen durch Nicht-Verfügbarkeit des Objektes dar. Hier ist es nicht immer eindeutig, ob die Nicht-Verfügbarkeit Prozess- oder Objekt-bezogen ist. Die Rede ist von den Verfügbarkeitsverlusten der Gesamtanlageneffektivität (**Abb. 2-34**), also um nicht geplante Ausfälle. In der Regel werden die Gesamtkosten der Nicht-Verfügbarkeit dann den LZK zugerechnet, wenn sie beispielsweise durch eindeutige Qualitätsmängel bei der Herstellung oder der Instandhaltung des Objektes verursacht sind. Darüber hinaus liegt ein gewisser Ermessensspielraum vor. Das betrifft vor allem die gemeinwirtschaftliche Ebene wie die Strassenverkehrsanlagen.

Wohin sind Umwegfahrten zu belasten auf Grund einer Strassensperrung, bedingt durch Grossbaustellen, Unfälle oder Naturereignisse? Hier stehen sich verschiedene Betrachtungen gegenüber. Die häufig vertretene Meinung, diese Kosten der SVA anzurechnen, ist nicht zwingend schlüssig. Die Schliessung einer Verkehrsanlage im Rahmen einer Grossbaustelle – im Schienen gebundenen Verkehr immer häufiger der Fall – lässt sich durchaus als planbare Nicht-Verfügbarkeit interpretieren (**Abb. 2-34**). Sperrungen in Folge von Schadensereignissen an den Objekten in Folge von Unfällen, wie beispielsweise die Sperrung der A1 und der A3 am 13.1.2014 in Folge der Kollision eines LKW samt Bagger mit einer Brücke, liegen nicht in der Verantwortung der Strassenbetreiberin. Schliessungen durch Naturereignisse (Erdbeben, Erdbeben, Überschwemmungen usw.) sind im Prinzip verfahrensbezogene Risiken. Ähnlichen Risiken unterliegen auch die konkurrierenden Verfahren wie Schiene, Wasser- oder Luftverkehr. Diese Kosten dem „Verfahren Strassenverkehr“ zuzurechnen und nicht der SVA selbst, wäre entsprechend folgerichtig.

### Gliederung der Kosten

Die auf das Objekt einwirkenden Kostenarten lassen sich in fünf Teile untergliedern (Abb.2.39):

- Einmalkosten > Darunter sind sämtliche Kosten zu verstehen für die Neuanschaffung eines Objektes bzw. für dessen Erneuerung oder Umbau; also die Kosten vom Konzept bis zur Inbetriebnahme
- Mehrfachkosten > Das sind Kosten für kleinere Sanierungen im Laufe einer Nutzungsphase wie in Abbildung 2.25 dargestellt; beispielsweise der „Betriebliche Unterhalt“
- Laufende Kosten > Darunter fallen alle permanent anfallenden Kosten des Objektbetreibers um eine reibungslose Betriebsweise zu garantieren, wie Inspektionen, betrieblicher Unterhalt (bei Strassen), Instandhaltung (bei technischen Anlagen), Administration usw.



- Unbeabsichtigte Kosten > Diese sind in der Regel unvorhersehbar und treten beispielsweise im Zusammenhang mit Störungen auf; häufig auch „Sonderkosten“ genannt (siehe Ausfälle bei den OEE)
- Kapitalkosten > Kosten für den Kapitaleinsatz, sofern der in die LZK einbezogen wird. In verschiedenen Modellen (vgl. Kapitel 2.6.5) werden die LZK nicht direkt mit dem Kapitaleinsatz belastet.

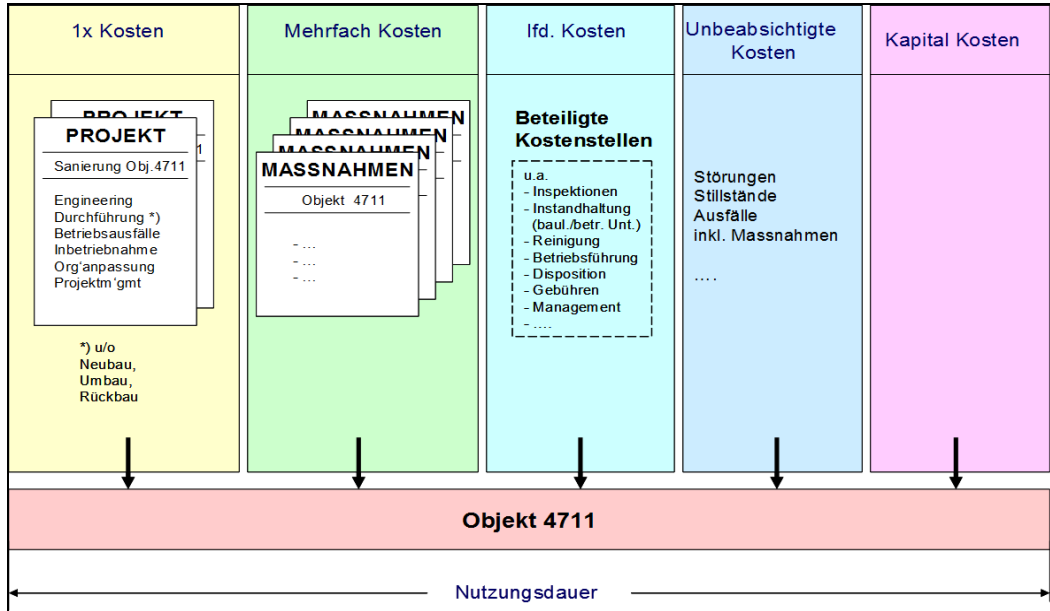


Abb. 2-37: Gliederungsmodell der Kostenarten im Life Cycle Costing (Quelle: unbekannt)

**Eigentliche Lebenszykluskosten**

Viele Publikationen und Lehrveranstaltungen reduzieren die LZK auf die Beschaffung und Instandhaltung, allenfalls noch auf den Rückbau. Wie bisher dargelegt, greifen diese Betrachtungen zu kurz. Hierbei handelt es sich um die unmittelbar wahrnehmbaren Kosten. Viele Kostenelemente werden jedoch nicht auf den ersten Blick wahrgenommen. Der Vergleich mit einem Eisberg drängt sich auf, bei dem der grösste Teil seiner Masse nicht sichtbar ist (Abb. 2-38).



Abb. 2-38: Offensichtliche und verdeckte Einflussgrößen auf die Lebenszykluskosten (Quelle: Albrecht J.E. AG)



Die die Lebenszykluskosten beeinflussenden Kostenarten lassen sich vier grossen Blöcken mit folgenden Inhalten zuordnen:

#### **Entwicklung (Consulting und Engineering):**

- Beratung, Studium, Strategische Planung mit Konzeption und Alternativen
- Forschung und Entwicklung
- Machbarkeitsstudie
- Planung und Projektierung bzw. Konstruktion und Design
- Bewilligungsverfahren
- Erstellung der Pflichtenhefte / Ausschreibung
- Angebotsverfahren
- Erstellen und Aktualisieren der Dokumentationen (Datenmanagement)

#### **Beschaffung und Inbetriebnahme**

- Projektmanagement
- Herstellung des Objektes bzw.
- Ausführung des Bauprojektes (Erstellung) bzw.
- Kaufpreis des Objektes inkl. aller Nebenkosten für Lieferung, Transport, Bewilligungen, Versicherung, Verzollung, Eingangskontrolle usw.
- Abnahmeprüfung
- Vorbereitung des Betriebs inkl. Ausbildung, Schulung, Coaching
- Inbetriebsetzung
- Testläufe, Anlaufverluste
- Nachkontrolle

#### **Nutzung und Erhaltung**

- Systemüberwachung und -übermittlung, Funktionssteuerung „vor Ort“
- Funktionskontrollen, Inspektionen
- Pflege und Reinigung
- präventive und korrektive Instandhaltung  
(in Bauterminologie: betrieblicher und baulicher Unterhalt inkl. kleinerer Instandsetzungen innerhalb eines Lebenszyklus)
- Energie und Medien (thermisch, elektrisch, Wasser, Kälte, Betriebsgase, Druckluft usw.)
- Abfälle und Schadstoffe (Emissionen inkl. Gebühren)
- Betriebs- und Hilfsstoffe, Ersatzteilverhaltung
- Raummiete (bei „indoor“ Produktionsanlagen)
- Arbeitsvorbereitung
- Update-Massnahmen (vor allem bei Software)
- Sachversicherungen, Gebühren
- Störfallmanagement inkl. Pikettdienst, Alarmierung, Rettung und Schadenwehr
- Objektbedingte (nicht verfahrensbedingte!) Betriebserschwerisse
- Betriebsausfall, Opportunität > siehe oben
- Objektbewirtschaftung inkl. Dokumentations-, Datenpflege und Historie
- Gemeinkostenanteile für Controlling, Betriebsbuchhaltung, Management usw.

#### **Ausserbetriebnahme**

- Ersatzmassnahmen während der Überbrückung
- Ausserbetriebsetzung
- Demontage und Rückbau
- Dekontaminierung
- Abtransport, Entsorgung inkl. Gebühren
- Zwischen- und Endlagerung (Sondermüll, radioaktive Abfälle usw.)
- Recycling > siehe oben
- Umschulung Mitarbeiter
- Sonstige flankierende Massnahmen
- Renaturierung

Im Strassenbau sind Beschaffung und Bereitstellung im Sinne eines Neubaus und ein kompletter Rückbau relativ selten. Im Sinne der sich wiederholenden Lebenszyklen zwischen zwei grossen Erhaltungsmassnahmen – siehe Betrachtungszeitraum Kapitel 2.5.1 – handelt es sich mehrheitlich um kombinierte Massnahmen. Sie umfassen gleichzeitig

den Abbruch der zu ersetzenden Anlage sowie die Erstellung und Inbetriebnahme der neu zu erstellenden Objekte. Mehrheitlich erfolgt dies auch noch unter Weiterführung des Verkehrs. Dabei sind sowohl Consulting und Engineering, Rückbau sowie Beschaffung und Bereitstellung als Kombination zu betrachten und zu berechnen.

Bei den LZK werden die Investitionskosten (Entwicklung plus Beschaffung und Inbetriebnahme) als Block (Summe aller Kosten) verstanden. Ihr Anfall ist unabhängig von der effektiven Nutzungsdauer, gleichgültig ob ein Tag oder hundert Jahre. Dadurch entfällt die Berücksichtigung einer „vorzeitigen Abschreibung“.

Berücksichtigung in Form einer Gutschrift findet sich jedoch der Umstand, wenn das Objekt oder Teile davon noch gewinnbringend veräussert werden können; nach Abzug aller entstehenden Unkosten.

### **2.5.8 Zusammenfassung Methodenansatz**

Der Betrachtungszeitraum für die Berechnung der Lebenszykluskosten soll sich an der Nutzung des zu betrachtenden Objektes ausrichten. Als Nutzungsdauer versteht sich der Zeitraum der zwischen zwei Eingreifmassnahmen liegt. Bei vielen Objekten ist dies der Zeitraum zwischen in Betriebsetzung und Ausserbetriebnahme, bei den Fahrbahnen meist der zwischen zwei grösseren Erhaltungsmassnahmen, beispielsweise Erneuerung der Tragschicht. Sowohl praktische Erfahrungen wie auch eine grosse Anzahl von Studien belegen, dass ein konsequentes Engineering nach dem Grundsatz des Life Cycle Costing hohe Kosten einsparen kann. Eine verstärkte Investition in Qualität kann dabei durchaus zu tieferen Lebenszykluskosten führen. Voraussetzung ist es, dass das Life Cycle Engineering in die allerfrüheste Konzeptphase integriert wird.

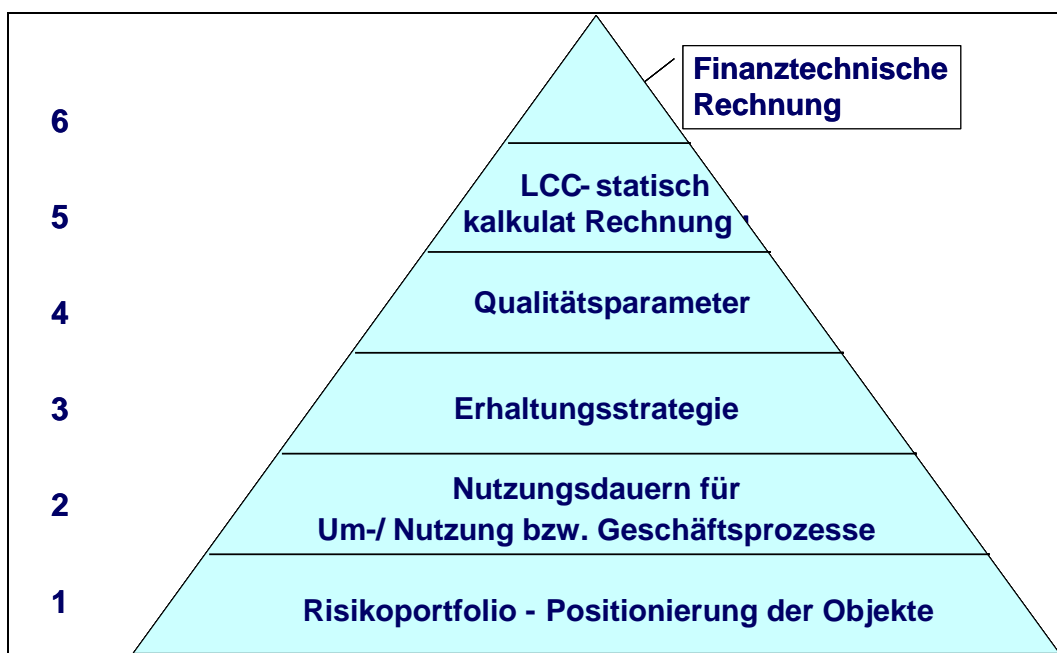
## 2.6 Modellierung

Ziel der Berechnung von Lebenszykluskosten ist es, für eine bestimmte Nutzung bzw. einen bestimmten Geschäftsprozess aus den erforderlichen „Produktionsmitteln“ – bei vorgegebenen Qualitätsanforderungen – die günstigsten Kosten zu erzielen. Dabei entstehen konkrete Aussagen:

- zum Vergleich verschiedener technischer Systeme
- zu verschiedenen Ausführungsvarianten eines Systems
- im Qualitätsverhältnis vom Investment zu den betrieblichen Aufwendungen
- im Vergleich verschiedener Instandhaltungs- und Erhaltungs-Strategien
- zur langfristigen Kostenplanung und Budgetierung von laufenden Kosten und Erneuerungsinvestitionen

Um das Ziel „Minimale Lebenszykluskosten“ im Rahmen der komplexen Zusammenhänge und Optimierungsverfahren (Nachhaltigkeit, Gesamtanlageneffektivität) zu erreichen, empfiehlt es sich, das Life Cycle Engineering – Kapitel 2.3.7 – schrittweise zu vollziehen.

Ausgehend von den Zielvorgaben des Wertschöpfungsprozesses ist die Berechnung der Lebenszykluskosten auf definierte Elemente der Struktur des einzelnen Objektes, eines ganzen Portfolios oder Systems ausgerichtet. Unabhängig von der gewählten Methode empfiehlt sich ein Vorgehen in einzelnen Stufen. Bei grossen Projekten hat sich in der Praxis das 6-stufige Modell in **Abb. 2-39** sowohl in der Industrie, bei Immobilien und für Infrastrukturanlagen bei Strasse, Schiene und Energieübertragung bewährt. Das Modell lässt sich sowohl mit den in Kapitel 2.4.1 beschriebenen Methoden von Aurich und von Denkena kombinieren.



**Abb. 2-39:** Sechsstufiges Optimierungsmodell der Lebenszykluskosten (Quelle: AFK-Management)

Das Modell trennt sechs in sich abgeschlossene Stufen und erleichtert dadurch Transparenz und Nachvollzug. Insbesondere unterteilt es die eigentliche Kostenrechnung in eine technisch-kalkulatorische und in eine finanztechnische Stufe.

### 2.6.1 Objektpositionierung

Die erste Stufe des Life Cycle Engineering vollzieht eine eingehende Risikoanalyse des Investitionsvorhabens. Sie bezieht sich primär auf die Chancenbeurteilung und die Positionierung des Objektes im Markt bzw. um den gemeinwirtschaftlichen Nutzen öffentlicher Vorhaben. Das vorgelegte Vorhaben wird in dieser Phase nochmals auf alle Risiken hin überprüft und mit allfälligen Substitutionsmöglichkeiten verglichen. Dieser Schritt ist vor allem bei marktwirtschaftlichen Investitionen unerlässlich. Dies soll durch drei Beispiele aus der Praxis der Autoren dokumentiert werden [56]. In einem Fall konnte belegt werden, dass eine bereits bewilligte Investition zur Erweiterung eines Hochregallagers durch organisatorische Massnahmen in Disposition und Logistik vermieden werden konnte. In einem zweiten Fall ging es um den Ausbau einer bestimmten Technologie Kunststoff verarbeitender Produkte. Ein Vergleich der angestrebten Endprodukte aus verschiedenen substituierenden Materialien konnte aufzeigen, dass Produkte der geplanten Technologie am Markt wirtschaftlich chancenlos wären. In einem dritten Beispiel musste eine Immobilie am Markt anders positioniert werden als vorgesehen.

Bei Vorhaben des Strassenverkehrs käme dies einem Substitutionsvergleich mit anderen Verkehrsträgern gleich. Da es sich hierbei jedoch um politische Entscheide handelt, entfallen diese Vergleiche auf dieser Stufe der Investitionsplanung in die Strasseninfrastruktur. Nicht entfallen sollte jedoch die Risikoüberprüfung.

### 2.6.2 Nutzungs- und Umnutzungsstrategie

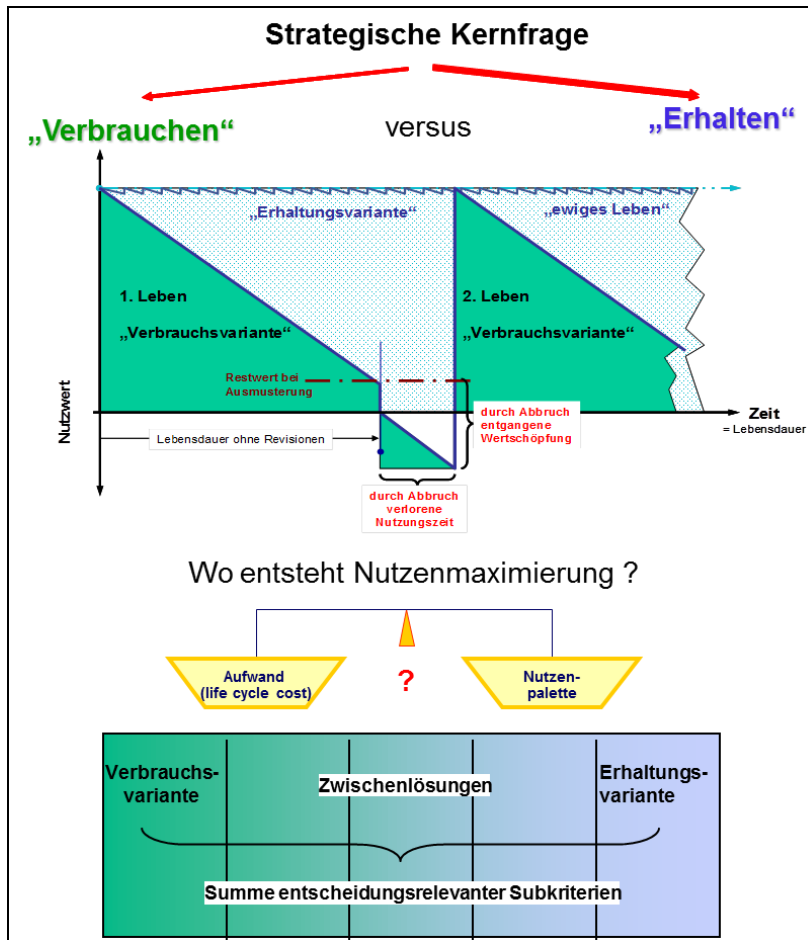
Nach Abklärung und Bereinigung der Risiken erfolgt die Abschätzung einer möglichen realen Nutzungsdauer. Neben eigenen empirischen Erfahrungen ist bei der Abschätzung auf die verschiedenen in Kapitel 2.4.1 beschriebenen Verfahren zu verweisen, insbesondere auf Aurich und auf Dekena. Dabei sind vor allem denkbare Veränderungen der Wertschöpfungsprozesse (zum Beispiel: Mengen, Technologien), der Rahmenbedingungen (Gesetze, Normen usw.) und des Marktverhaltens zu beachten.

Gestützt auf die denkbaren Veränderungen ist ebenfalls zu überprüfen, ob sich der Engineeringansatz des Objektes für eine spätere Umnutzung eignet oder entsprechend angepasst und designt werden soll. Diese Frage stellt sich besonders für den Bereich der Immobilien. Bei Strassenverkehrsanlagen stellt er sich dagegen seltener. Dass eine Strassenfahrbahn, eine Kunstbaute oder die Betriebs- und Sicherungsanlagen umgenutzt werden, geschieht eher selten.

### 2.6.3 Erhaltungsstrategien

Auch die nachfolgend skizzierten Überlegungen der Erhaltungsstrategie sind weniger auf Strassen und Kunstbauten ausgerichtet. Für technische Anlagen (BSA) sind sie dagegen bedeutsam.

Die Entwicklung der Erhaltungsstrategie beruht in erster Linie auf der Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment), in zweiter Linie auf den resultierenden Lebenszykluskosten. Dabei spielen die Aufwendungen für die Instandhaltung – ökologisch und ökonomisch – eine entscheidende Rolle. Auszugehen ist von den beiden Extrempositionen: Nutzen und Rückbauen und „ewige“ Erhaltung (siehe auch **Abb. 2-40**).



**Abb. 2-40:** Festlegen der geeigneten Erhaltungsstrategie zwischen den beiden Extrempositionen: „Einmalige Nutzung“ und „Ewige Erhaltung“ (Quelle: AFK-Management)

In der einen Extremposition wird davon ausgegangen, für das Objekt nur soviel Instandhaltung aufzuwenden, damit es betriebsfähig bleibt. Mit Ende der Lebensdauer wird das Objekt zurück gebaut und durch ein komplett neues ersetzt. Mit gezielter Wiederverwertung oder Recycling der Wertstoffe kann diese Variante durchaus wirtschaftlich sinnvoll sein. Sie wird sowohl in der Technik und im Hochbau praktiziert.

In der anderen Extremposition wird das Objekt durch permanente präventive Instandhaltungsmassnahmen ständig auf einem hohen Gebrauchswert erhalten.

In der Praxis ist die Positionierung der Strategie auf eine der beiden Extreme selten. Sie liegt meistens zwischen den beiden Polen mit Tendenz in die eine oder andere Richtung. Die jeweils optimale Strategie ergibt sich aus der Kombination zwischen LZK und Nachhaltigkeit. Die gefundene Strategie bildet die Grundlage für die definitive Nutzungsdauer und die während dieser Zeit aufzuwendenden Erhaltungsmaßnahmen.

### 2.6.4 Qualitätsparameter

Qualität kostet. Im obersten Qualitätssegment steigen die Kosten in Relation zum Mehrwert exponentiell an. Qualität ist messbar und muss messbar sein. Die Messungen basieren in der Regel auf den Fragen: Häufigkeit und Dauer.

Beispielsweise: Häufigkeit von Fehlern, Störungen, Ausfällen, Schäden, Unfällen und dergleichen und Dauer der Unterbrechungen (Verfügbarkeitsverluste) sowie die Kostenfolgen. Gängige Messgrösse für Ereignisse bzw. deren Dauer ist die Relation zur Bezugsgrösse, meist auf 1 Million Grundeinheiten (Stunden, Tage, Einschaltvorgänge, Stück, Belastungen, DTV oder ähnliches). Das bedeutet zulässige Fehlerquote bezogen

auf eine Stückzahl von einer Million oder zulässige Verfügbarkeitsverluste auf eine definierte Produktionszeit. Der Wert wird in ppm (parts per million) angegeben. Er lässt sich reziprok auch in Prozent ausdrücken. 1'000 ppm entsprechen 99.9%; 10ppm entsprechen 99.999%

Soll die Verfügbarkeit eines Objektes im oberen Bereich um eine zehner Potenz verbessert werden – beispielsweise von 99,99% (100 ppm) auf 99,999% (10 ppm) – können sich die Kosten leicht vervielfachen. Die erforderlichen Qualitätsfaktoren sind entsprechend sorgfältig zu überprüfen und festzulegen. Die Qualität übt einen dominierenden Einfluss auf die Lebenszykluskosten aus. Für die Qualitätsfaktoren bedeutet kostenbewusst investieren: „So gut wie nötig, so gering wie möglich“. Das zu investierende Objekt muss sämtliche verlangten Qualitäts- und Sicherheitsansprüche sicher erfüllen. Qualitätssteigerungen über dieses Limit hinaus sind nur dann zu rechtfertigen, wenn sich dadurch gesamthaft günstigere LZK erzielen lassen [57].

### RAMS

Ein erheblicher Teil der Qualitätsfaktoren wird durch die RAMS Kenngrößen beschrieben. RAMS ist in der CENELEC-Norm SN EN 50126 [36] definiert und steht für:

- Reliability (Zuverlässigkeit)
- Availability (Verfügbarkeit)
- Maintainability (Instandhaltbarkeit)
- Safety (Sicherheit)

Die RAMS Kriterien haben zum Ziel, die vielfältigen Einflussgrößen auf den Anlagenerhalt messbar zu machen und damit ein Instrument für die Steuerung der LZK zu schaffen. Ihre Bedeutung für das Life Cycle Management spielt heute in der Technik und im Bau eine zentrale Rolle.

Die **Zuverlässigkeit (Reliability)** beschreibt die Eigenschaft eines Objektes unter gegebenen Bedingungen, während einer festgelegten Zeitdauer ausfallfrei funktionstüchtig zu bleiben. Dafür werden die Voraussetzungen und die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ausfalls definiert. Ermittelt wird der Zeitpunkt, respektive die Dauer bis zum ersten Ausfall des Systems. Bekannt als:

- „Mean Time Between Failure“ (MTBF) resp.
- „Mean Time To Failure“ (MTTF), falls keine Reparatur möglich ist

Dabei werden die Massnahmen gesucht, mit denen Frühausfälle eliminiert und die Ausfälle am Ende der Lebensdauer durch rechtzeitigen Ersatz verhindert werden können.

Die **Verfügbarkeit (Availability)** beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der ein System zu einem bestimmten Zeitpunkt unter vorgegebenen Bedingungen dauernd funktionstüchtig ist. Neben der Zuverlässigkeit ist sie auch von menschlichen und organisatorischen Faktoren abhängig.

Die **Instandhaltbarkeit (Maintainability)** beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der der Zeitaufwand für den präventiven Unterhalt, resp. für die korrektive Instandsetzung (Reparatur) kleiner als ein vorgegebenes Intervall ist. Der Mittelwert der benötigten Zeit wird mit: „Mean Time To Repair“ (MTTR) bezeichnet.

Sie bezieht sich auf die technischen und organisatorischen Voraussetzungen einer wirkungsvollen Instandhaltung. Überlegungen die als integraler Bestandteil des Engineering und Design einer neuen Anlage verstanden werden, um die LZK im Betriebszustand tief halten zu können. Bei der Planung von Strassenverkehrsanlagen werden dabei sowohl der betriebliche wie der bauliche Unterhalt angesprochen.

Die präventive **Sicherheit (Safety)** sichert vor unzulässigen Schadenrisiken und umfasst:

- die korrekte Funktionsweise und den Betrieb (Unfallverhütung; gesetzliche Vorschriften)
- den Schutz vor den Folgen eines Systemausfalls (techn. Sicherheit = Zuverlässigkeit),
- den Schutz vor schädlichen Umwelteinflüssen.

Abb. 2-41 zeigt das Zusammenwirken der RAMS Faktoren:

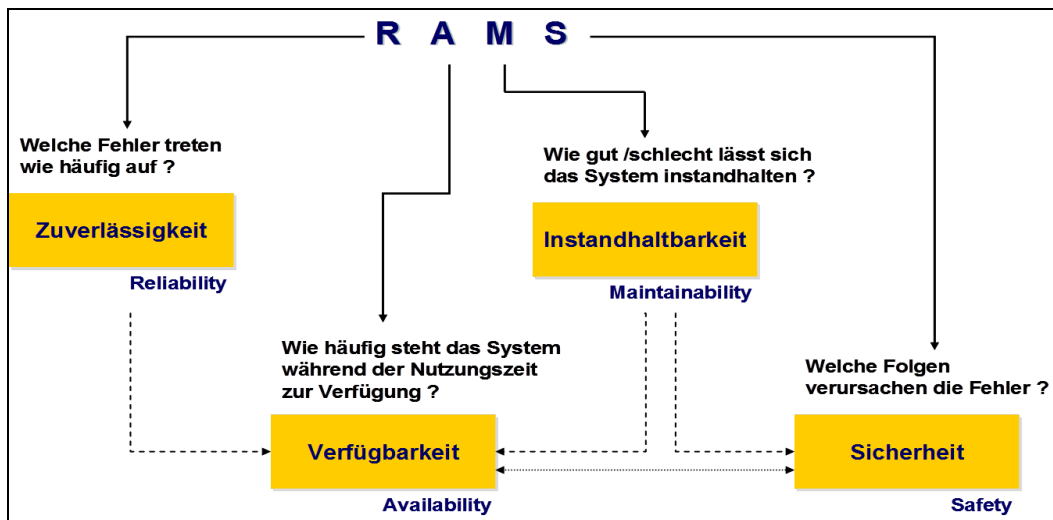


Abb. 2-41: Zusammenwirken der „RAMS“ – Kriterien (Quelle: unbekannt)

### Ergänzende Qualitätsfaktoren

Neben den funktionalen RAMS-Faktoren haben weitere bedeutende Qualitätsfaktoren entscheidenden Einfluss auf die LZK. Dabei sind drei von massgeblicher Bedeutung:

- die Präzision bzw. Perfektion (Toleranzen, Ausführungsgrad),
- die entstehenden Emissionen und vor allem
- die Kapazitätsauslastung des Objektes

Sie ergänzen die Qualitätsfaktoren zu „RAMS+“ oder „RAMSPEC“:

Die **Präzision** der Ausführung bestimmt die LZK in erheblichem Masse. Mangelnde Präzision bei der Fertigung (verdeckte Mängel, Schlamperei) führen zu teils massiven Folgen in Form von Schäden, Unfällen, Nachbesserungen. Katastrophensituationen mit teils dramatischen Folgen in verschiedenen Gegenden der Erde dokumentieren das immer wieder. Der umgekehrte Fall von Überperfektion treibt die LZK ebenfalls in die Höhe. Er führt zur Unausgewogenheit zwischen realer und möglicher Nutzungsdauer. Erhebliche Abschreibungen sind die Folge.

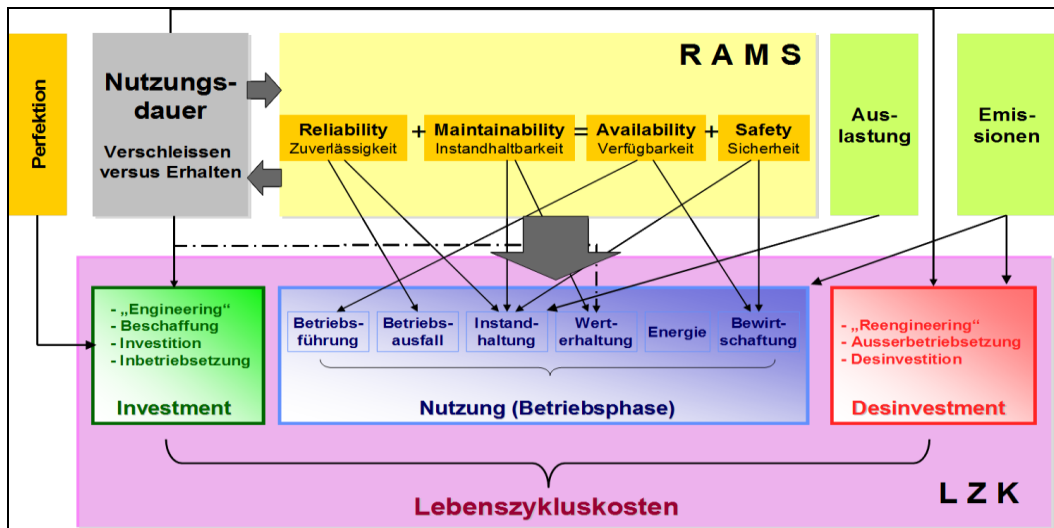
Die Form von Über- oder Unterperfektion ist meist organisatorisch oder strukturell bedingt, durch zu wenig präzisierte und messbare Arbeitsaufträge. Arbeitsaufträge müssen deshalb deutlich messbare Toleranzwerte vorgeben.

Durch Abgase, Abwässer, Abfälle und sonstige Schadstoffe bedingte **Emissionen** belasten nicht nur die Umwelt sondern werden ein zunehmend gewichtiger Kostenfaktor in verschiedenster Form: Entsorgung, Gebühren, Zertifikate usw.

Missverhältnisse bei der **Kapazitätsauslastung** führen zu Leistungsverlusten (vgl. **Abb. 2-34**), die sich in Form von Überinvestitionen manifestieren. Die Planung langlebiger Wirtschaftsgüter mit schwieriger Veränderungsmöglichkeit, wie sie Strassenverkehrsanlagen darstellen, ist entsprechend problematisch. Sie müssen von vornherein auf Kapazitätswachstum geplant werden. Erhaltungskosten entstehen dennoch auch bei unausgelasteten Kapazitäten. Für die Planer besteht hier eine echte Herausforderung im Sinne der langfristigen Planung.

Mit diesen sieben Qualitätsfaktoren lassen sich alle Qualitäts- und Sicherheitsansprüche beschreiben und quantitativ festlegen. Ihre Verknüpfung und ihr Einfluss auf die LZK wird durch die **Abb. 2-42** „Vernetzung der Qualitätsvorgaben“ verdeutlicht. Zwischen den Qualitätsfaktoren und den LZK besteht eine erhebliche Wechselwirkung. Um diese zu optimieren, sind fünf funktionale Schritte erforderlich:

1. Wie viel Qualität und Sicherheit ist zwingend erforderlich, was wäre „nice to have“?
2. Wie viel davon ist bezahlbar?
3. Quantitative Festlegung der Q-Vorgaben in % oder ppm
4. Festschreibung in den Arbeitsaufträgen
5. Kontrolle der Einhaltung der Werte



**Abb. 2-42:** Vernetzung der Qualitätsparameter auf die Lebenszykluskosten (Quelle: Albrecht J.E. AG)

## 2.6.5 Technisch-kalkulatorische LZK-Berechnung

Die Life Cycle Costing orientiert sich ausschliesslich an betrieblich-technischen Gegebenheiten. Im Gegensatz zur Anlagenbuchhaltung oder zu steuertechnisch bedingten Abschreibungsrechnungen ist es realitätskonform. In der Regel ist es nur bedingt mit klassischen Wirtschaftlichkeitsrechnungen oder Investitionsrechnungen vergleichbar (vgl. Kap. 2.3.5).

Für eine korrekte Berechnung der Lebenszykluskosten müssen mehrere Anforderungen erfüllt sein. Ganz wesentlich sind:

- sämtliche objektbedingten direkten und indirekten Kosteneinflüsse
- die vollständige Kostenerfassung
- keine Durchmischung der Kosten mit bilanztechnischen Daten
- eine festgelegte Nutzungsdauer
- eindeutige und einheitliche Systemabgrenzungen
- einheitliche Annahmen für alle Eingangsgrössen
- die nachvollziehbare Darstellung aller Schritte

Die Entwicklung exogener Einflussfaktoren wie Zinsen, Währungsdifferenzen, Beschaffungsmöglichkeiten und Kosten von Rohstoffen und Energie, Lohnentwicklungen etc. ist in keiner Weise voraussehbar. Das gilt insbesondere für lange Zeiträume. Ihre Berücksichtigung in der LZK-Berechnung ist spekulativ und erhöht die Unsicherheit der Aussage massiv. Die Nutzungsdauer ist ebenfalls eine angenommene Grösse. Im Gegensatz zu klassischen Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden die Zahlungsströme deshalb seltener auf einen bestimmten Zeitpunkt bezogen.



Aus diesem Grund wird im vorliegenden Modell die LZK-Berechnung aufgeteilt in einen rein technisch-kalkulatorischen Teil und in einen finanztechnischen Teil.

Die technisch-kalkulatorische LZK-Berechnung ist praktisch eine „Momentaufnahme“. Sie basiert, vergleicht und gestaltet ausschliesslich auf bekannten, aktuellen Kosten, Werten und Bedingungen. Das befreit die Kalkulation von einem Teil der Unwägbarkeiten wie Zahlungsströme, Diskontierungen usw. und erleichtert das Verfahren.

Beim technisch-kalkulatorischen Verfahren werden sämtliche evaluierten und abgeschätzten Kosten über die angenommene Nutzungsdauer kumuliert. Vereinfacht können die LZK in die folgende Formel gefasst werden:

$$LZK = m \left( I + \sum_{t=1}^n N_t + D \right)$$

Dabei sind:

LZK = Totale Lebenszykluskosten

m = Anzahl betrachteter Objekte

I = Investitionskosten (Entwicklung, Beschaffung und Inbetriebnahme)

N = Nutzungskosten (Nutzung und Erhaltung)

n = Nutzungsdauer

D = Desinvestitionskosten (Ausserbetriebnahme)

Kosteninhalte entsprechend Kapitel 2.5.7. Dabei ist gerade bei der Erneuerung von Strassenverkehrsanlagen die Abgrenzung zwischen Abbruch der zu ersetzenden bzw. erneuernden Objektelemente und den Aufwendungen für die eigentliche Erneuerung zu berücksichtigen.

Es leitet sich eine einfache, vergleichende Betrachtungsweise ab, in der die kumulierten Lebenszykluskosten auf mittlere jährliche Kosten – MJK – herunter gebrochen werden. Für ein Objekt folgt:

$$MJK = \frac{I + D}{n} + \bar{N} (CHF / a)$$

$\bar{N}$  = Mittelwert der Nutzungskosten während der Nutzungsdauer

- Diese auf einer statischen Betrachtung basierende Berechnung der Lebenszykluskosten ist in den meisten Fällen ausreichend. Sie bezieht sämtliche zum Ausgangszeitpunkt tatsächlich bekannten Kosten ein.
- In der Literatur finden sich dagegen häufig Berechnungsmodelle die auf dem Nettobarwert (NPV – Net Present Value) bzw. auf der klassischen Diskontierung basieren. Sie stützen sich auf die etablierten betriebswirtschaftlichen Berechnungsmodelle. Insofern entsprechen sie korrekten Ansätzen. In der Praxis stösst diese Vorgehensweise dagegen auf Skepsis. Sie ist schwerfällig, unübersichtlich und für viele Entscheidungsträger schwer nachvollziehbar. Ausserdem geht sie von Annahmen der Zins-, Wirtschafts- und Teuerungsentwicklung aus, die in höchstem Masse spekulativ sind. Gerade die Entwicklung seit Beginn des 21. Jahrhunderts hat beim Verlauf der Zinsen, Wechselkurse, Aktienindices oder den Rohöl- und Rohstoffpreisen gezeigt, wie sich schon in kurzen Zeiträumen alle Annahmen als obsolet erweisen können.

Es ist deshalb sinnvoll, in der technisch-betrieblichen LZK-Berechnung alle Zins- und Teuerungsfaktoren auf null zu setzen. Dagegen empfiehlt es sich, die Kapitalwertberechnungen in einem zweiten Schritt in Form von definierten Szenarien durchzuführen.

### 2.6.6 Finanztechnische Berechnung

In der Stufe der dynamischen Berechnung werden die auf der technisch-kalkulatorischen Berechnungsstufe vernachlässigten finanztechnischen Einflussgrössen aufgegriffen.

Da die Unwägbarkeitsfaktoren nach wie vor bestehen, erfolgt dieser Berechnungsvorgang nicht auf Grund einer Formel sondern basiert auf Szenarien. In der Regel einem voraussichtlich günstigem (best-case), einem voraussichtlich ungünstigem (worst-case) und einem mittleren (plausible-case).

Für die Szenarienbildung und der darauf aufbauenden Berechnung sind die verschiedensten Varianten und Formeln denkbar. Da jede Aufgabenstellung anders ist und auf unterschiedlichen Rahmenbedingungen basiert, sollte die Szenarienbildung jeweils nach den individuellen Bedürfnissen und Zielsetzungen ermittelt und erstellt werden. Den Entscheidungsträgern bleibt es dabei überlassen, die für sie sinnvollen Faktoren in den Berechnungsgang einzugeben.

Aus dem Vergleich der Ergebnisse der Szenarien mit der ursprünglichen, technisch-kalkulatorischen LZK-Berechnung lassen sich Verschiebungen, die die Entscheidung nachhaltig beeinflussen können, sofort erkennen.

Ändern sich die exogenen Einflussfaktoren dramatisch, erfolgt eine Neujustierung der Szenarien, während die technisch-kalkulatorische Berechnung auf den neuen Grundlagen kalibriert werden kann.

## 2.7 Folgerung aus den Grundlagen der LZK

Der gesamte Bereich des Life Cycle Management mit all seinen Inhalten ist derzeit noch in intensiver Entwicklung begriffen. Allein für die Berechnungsweise der Lebenszykluskosten, dem Life Cycle Costing gibt es noch eine Vielzahl verschiedener, teils gegenläufiger Verfahren und Richtlinien. Eine fundamentale Erkenntnis der bisherigen Arbeit ist die Trennung zwischen Produkt Lebenszykluskosten (PLZK) über einen gesamten Marktzyklus in der Gebrauchsgüterindustrie und Objekt Lebenszykluskosten (OLZK) für hochwertige Wirtschaftsgüter. Darunter fallen auch die Strassenverkehrsanlagen (SVA).

Grundlegende Arbeiten zu den OLZK von Strassenverkehrsanlagen liegen bisher vor allem für Brücken und Technische Anlagen vor. Da Strassen selbst äusserst langlebige Wirtschaftsgüter sind, ist hier der Betrachtungszeitraum für die LZK von grosser Bedeutung. Im Rahmen des Erhaltungsmanagement sollte eine daraus folgende sinnvolle Nutzungsphase der Zeitraum zwischen zwei grösseren Erhaltungsmassnahmen sein. Beispielsweise die Tragschichterneuerung.

Das Life Cycle Costing ist in eine Reihe übergeordneter Managementsysteme eingebunden. Um für die Lebenszykluskosten das Optimierungspotenzial voll ausschöpfen zu können, ist die Einhaltung der damit in Zusammenhang stehenden Prinzipien Voraussetzung.

In den kommenden Kapiteln werden auf der Basis der vorliegenden Grundlagen konkrete Überlegungen für die Gestaltung des Life Cycle Costing für die besonderen Bedingungen von SVA'n angestellt und in einen „Werkzeugkasten für die praktische Anwendung“ verdichtet. Das sechsstufige Modell dient dazu als Basis.

## 3 LZK für das Strassenmanagement

Kapitel 3 umfasst im Wesentlichen eine Standortbestimmung des Life Cycle Costing im Strassenmanagement und erarbeitet die Grundlage, auf welcher die strassenmanagementspezifische LCC-Methodik aufbauen kann:

- Kapitel 3.1 befasst sich mit der Struktur von Strassenverkehrsanlagen, deren Management im Rahmen von Portfolios und den Lebensphasen von Objekten.
- Kapitel 3.2 gibt eine Einführung in die Bedürfnisse der Kostenoptimierung im Strassenmanagement und definiert die Voraussetzungen, unter welchen das LCC angewendet werden kann.
- In Kapitel 3.3 werden, abhängig vom Kostenträger, die im LCC zu berücksichtigenden Kostenarten aufgelistet.
- In Kapitel 3.4 wird anhand von ausgewählten Beispielen aus der Literatur gezeigt, wie und mit welchen Unterschieden LZK heute im Strassenwesen (und im Transportwesen allgemein) angewendet werden. Das Kapitel schliesst mit einem Fazit zur aktuellen Standortbestimmung.
- Kapitel 3.5 arbeitet die wesentlichen Besonderheiten der LZK-Betrachtung im Strassenmanagement heraus.

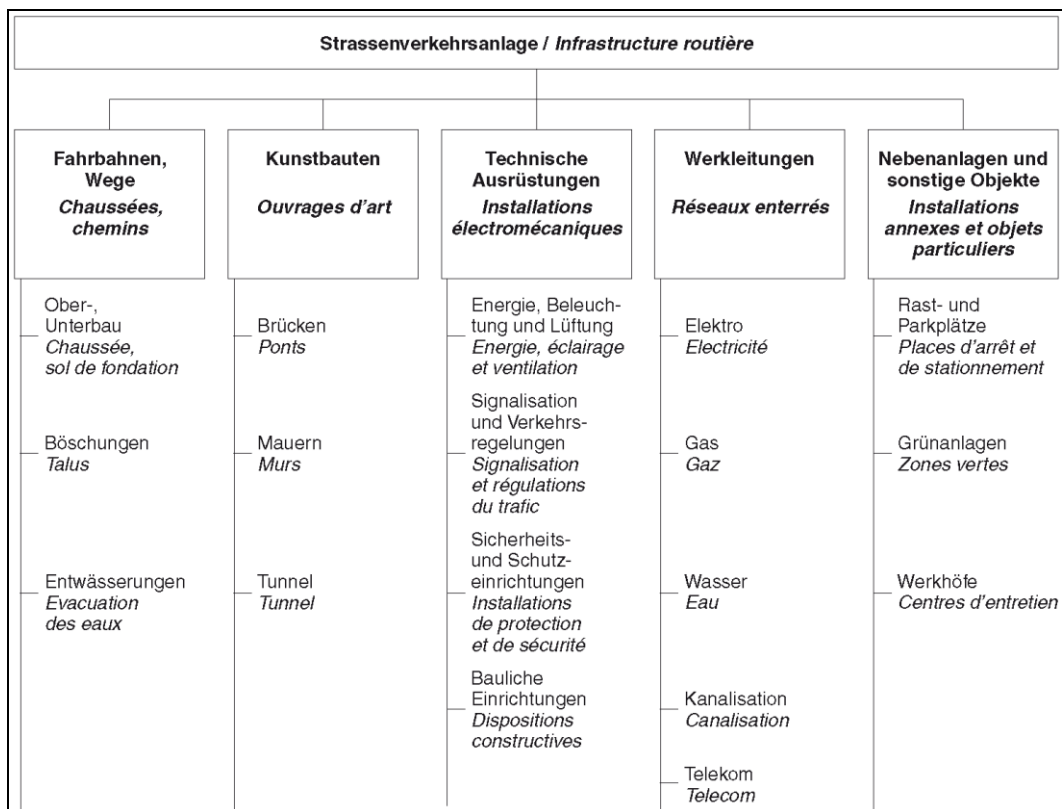
## 3.1 Die Strassenverkehrsanlage

### 3.1.1 Struktur, Systemabgrenzung

Eine Strassenverkehrsanlage besteht aus verschiedensten Elementen. Je nach Fragestellung können diese Elemente unterschiedlich aggregiert, strukturiert und betrachtet werden.

In der Grundnorm zum Erhaltungsmanagement, SN 640 900a [60], wird das Gesamtsystem Strassenverkehrsanlage in folgende fünf Teilsysteme unterteilt:

- Fahrbahnen und Wege (Ober-, Unterbau, Böschungen inkl. Entwässerungsanlagen usw.)
- Kunstbauten (Brücken, Tunnels usw.)
- Technische Ausrüstungen
- Werkleitungen
- Nebenanlagen und sonstige Objekte

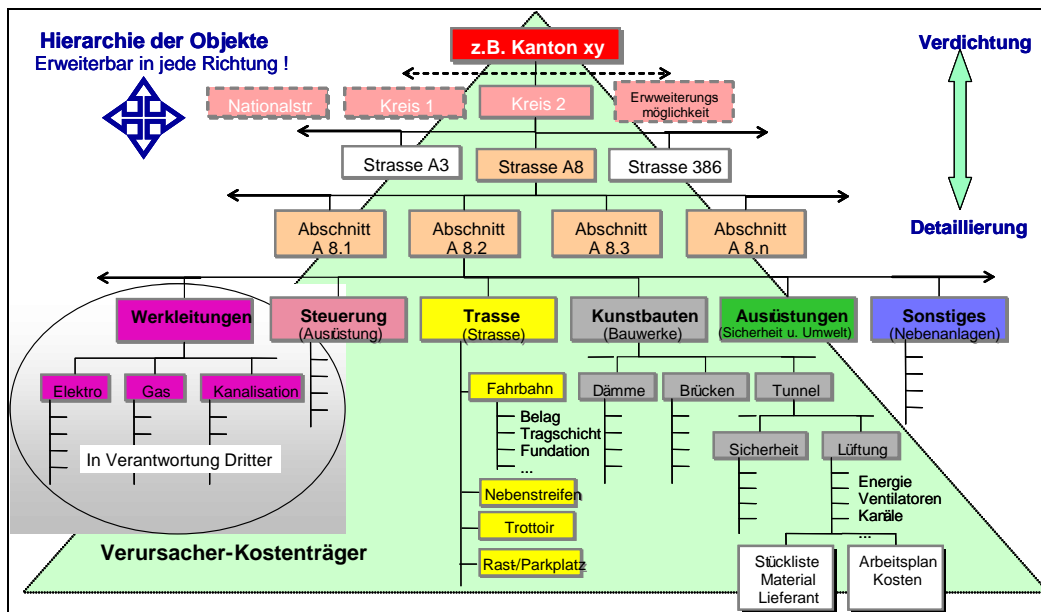


**Abb. 3-1:** Übersicht über die Strassenverkehrsanlage und deren Teilsysteme gemäss [60]

Neben den Teilsystemen können verschiedene Betrachtungsebenen unterschieden werden:

- Gesamtportfolio
- Gebietseinheiten
- Strassen
- Strassenabschnitte
- Objekte (z.B. Brücke, Tunnel, ...)
- Teilobjekte (bei einer Brücke z.B. Pfeiler, Widerlager, Fahrbahn, -übergänge, etc.)

Je nach Fokus resp. Entscheidungssituation im Erhaltungsmanagement bewegt man sich auf Ebene des Gesamtsystems, eines Teilsystems, eines Objekts oder Teilobjekts oder einer Gruppe von Objekten. Als weiterer Aspekt ist die räumliche Abgrenzung miteinzubeziehen. Das Gesamtsystem kann damit in folgender Struktur abgebildet werden:



**Abb. 3-2:** Betrachtungsebenen und Struktur innerhalb eines Portfolios. (Quelle: AFK-Management; Beispiel aus dem Kanton Schwyz)

Teilsysteme, Objekttypen oder Teilobjekte/-typen können auch abschnittsübergreifend für sich alleine betrachtet werden (z.B. alle Strassenlampen).

Eine klare Strukturierung soll helfen, für eine bestimmte Fragestellung (Entscheidungssituation) die optimale Betrachtungsebene und Systemabgrenzung zu wählen (vgl. Kapitel 5.1). Alternative Strukturierungen zur hier beschriebenen sind möglich.

### 3.1.2 Portfolio

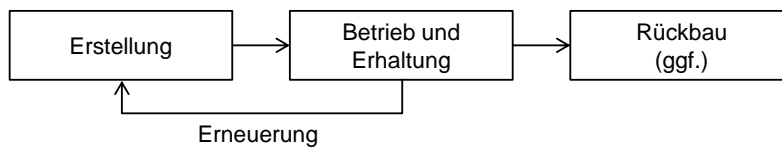
Die Gesamtheit der Strassen resp. Objekte im Verantwortungsbereich eines Strasseneigentümers bildet das Portfolio. Der Strasseneigentümer ist grundsätzlich bestrebt, die Kosten seines Portfolios – unter Berücksichtigung verschiedenster Rahmenbedingungen (vgl. Kapitel 4) – zu minimieren.

Im Gestaltungsrahmen des Life Cycle Costing eröffnet die Ausrichtung auf ein objektübergreifendes Portfolio möglicherweise neue Spielräume für die Kostenminimierung. Statt beispielsweise nur auf eine Brücke zu fokussieren, kann es sich lohnen, Massnahmen an weiteren gleichartigen Brücken ins Auge zu fassen, selbst wenn deren Anlagen an sich noch keine Massnahmen erfordern. Oder man zieht angrenzende Strassenabschnitte mit in den Massnahmenperimeter ein, um Synergien in der Ausführung zu nutzen und Verkehrsbeschränkungen gering zu halten.

Schliesslich lohnt es sich zumindest innerorts oft, den Systemperimeter über das Strassenportfolio auszudehnen und Anlagen Dritter – z.B. Werkleitungen – mit in das Life Cycle Costing einzubeziehen.

### 3.1.3 Phasen des Lebenszyklus von Strassenanlagen

In Anlehnung an Keoleian et al. [61] können die Phasen im Lebenszyklus eines Strassenobjekts wie folgt dargestellt werden:



**Abb. 3-3:** Phasen im Lebenszyklus einer Strasse

Unterschieden werden die Phasen Erstellung, Betrieb und Erhaltung sowie Rückbau. Die Erstellung betrifft mehr oder weniger einmalige Kosten (Kosten, die nicht regelmässig jedes Jahr anfallen). Die Erneuerung ist von der Kostensystematik her sehr ähnlich wie die Anfangsinvestition. Bei einer bestehenden Anlage, deren Anfangsinvestition schon länger zurück liegt, beginnt die LZK-Betrachtung i.a. mit einer Erneuerungsinvestition.

Während der Betriebsphase wird der betriebliche und bauliche Unterhalt wahrgenommen. Es sind Arbeiten, die regelmässig (z.B. jährlich) anfallen. Zu den Betriebskosten gehören auch Aufwendungen für die Behebung von Störungen. Der reguläre Betrieb kann durch die Ausführung von Erneuerungsmassnahmen unterbrochen werden.

Der Rückbau bezeichnet den Abbruch des Infrastrukturbestandteiles und die Entsorgung des abgebrochenen Materials.

## 3.2 Bedürfnisse an die LZK im Strassenmanagement

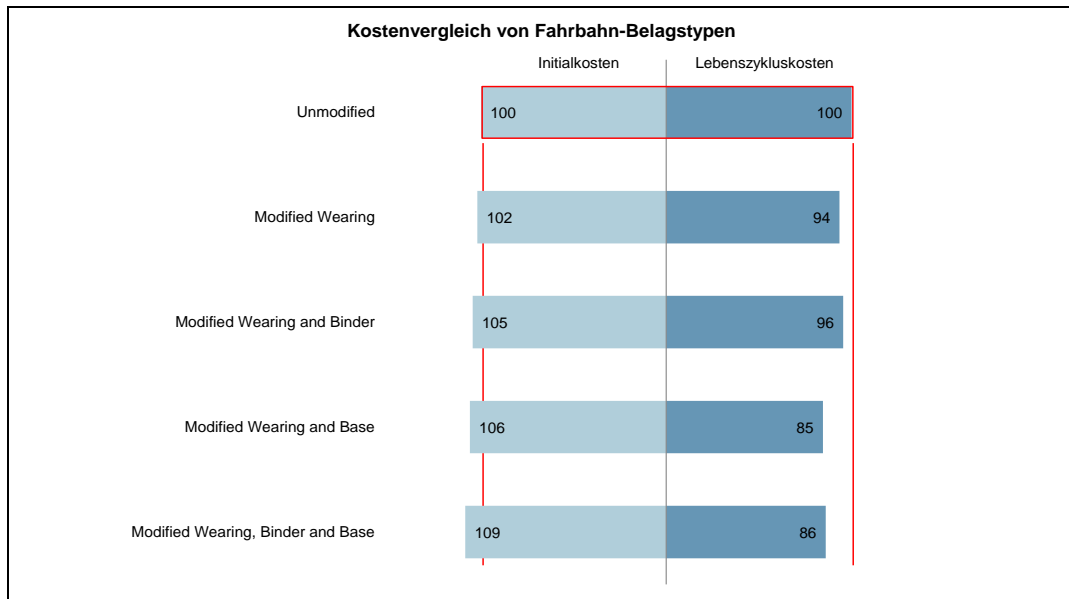
Das Life Cycle Costing hat zum Ziel, die Kosten einer Strassenanlage, die eine bestimmte Funktion hat, einen bestimmten Zweck erfüllt und einen bestimmten Level of Service bietet, von einer ersten Investition über einen definierten Nutzungszeitraum bis allenfalls zur Ausserbetriebnahme möglichst gering zu halten.

Grundsätzlich geht es darum, sich bereits frühzeitig darüber klar zu werden, welche Kostenfolgen mit einem Investitionsentscheid (resp. mit einem Nicht-Investitionsentscheid) verbunden sind. Die Lebenszyklusperspektive verlangt, bei der Erbringung einer bestimmten Infrastrukturleistung zu jedem Zeitpunkt und insbesondere in der Planung auf langfristig tiefe Kosten hinzuarbeiten.

Sehr häufig stehen Trade-offs zur Diskussion, wie bereits im Kapitel 2 beschrieben. Zum Beispiel:

- Investition in ein vergleichsweise teures, dafür aber zuverlässigeres und langlebigeres System mit tieferen Betriebskosten und selteneren Ersatzinvestitionen
- Bereitstellung einer aufwändigen Alarmorganisation, um Störungen zu verhindern oder rasch beheben zu können
- Frühzeitiger Ersatz von an sich noch gebrauchstauglichen Systemen, um Betriebskosten zu sparen oder tiefe Erneuerungspreise auszunutzen

Ein Beispiel für die Gestaltung der Lebenszykluskosten und einen solchen Trade-off finden wir bei Buncher [62]. Buncher vergleicht unbehandelte Fahrbahnbeläge mit speziellen Belagstypen. Letztere sind zwar teurer in der initialen Ausführung, dafür aber langlebiger: In seinem Anwendungsbeispiel geht Buncher davon aus, dass unbehandelte Beläge im Betrachtungszeitraum von 40 Jahren häufigere Erneuerungen der Deckschicht und der kompletten Fahrbahn brauchen als die speziellen Belagstypen. In der initialen Ausführung sind die speziellen Belagstypen zwar um bis zu 9% teurer, aber ihre Lebenszykluskosten können um bis zu 15% geringer sein.



**Abb. 3-4:** Trade-off zwischen (hohen) Initialkosten und (tiefen) Lebenszykluskosten am Beispiel von Fahrbahnbelägen. Indikative Darstellung nach [62]

### 3.3 LZ-Kostenarten bei Strassenverkehrsanlagen

In der Auslegeordnung der Grundlagen zum LCC in Kapitel 2 stehen historisch bedingt Industrie- resp. privatwirtschaftlich betriebene Branchen im Vordergrund. Entsprechend liegt der Fokus dort meistens auf den reinen Objektkosten des Betreibers oder Investors einer Anlage. Allfällige Kosten des Nutzers oder von Dritten werden in den meisten Fällen nicht betrachtet. Wie in Kapitel 2.4 und Kapitel 2.5.7 begründet, sind im Strassenwesen aber die volkswirtschaftlichen Kosten bei Nutzern und Dritten ebenfalls einzubeziehen.

In einer vollständigen Lebenszykluskostenanalyse sind damit sowohl Betreiberkosten als auch Kosten auf Seiten der Strassenbenutzer und allenfalls auch Dritter gemäss nachfolgender Tabelle zu berücksichtigen.

Phase	Erstellung	Betrieb	Rückbau
<b>Kostenträger</b>			
Betreiber	Anfangsinvestitionen	Betriebskosten Reparaturkosten Erhaltungskosten	Kosten für Rückbau und Entsorgung
Nutzer	Betriebserschwerungskosten und Unfallkosten durch Bau, Unterhalt, Qualitätsmängel und Störungen		
Dritte	Belastungen und Beeinträchtigungen Dritter durch Bau, Unterhalt, Qualitätsmängel und Störungen		

**Abb. 3-5:** Grobsystematik der Lebenszykluskosten

Diese Systematik korrespondiert im Wesentlichen auch mit derjenigen im Life-Cycle Cost Analysis Primer der Federal Highway Administration (2002) [63]. Wie bereits in der Zusammenfassung zu Kapitel 2.4.1 begründet, wird nachfolgend bei Verwendung des Begriffs LZK aus Gesellschaftsperspektive auch die Inklusion der oben genannten Nutzerkosten und Kosten Dritter verstanden.

### 3.3.1 Betreiberkosten

Folgende Tabelle gibt einen umfassenden Überblick über mögliche Betreiberkosten im Lebenszyklus einer Strassenanlage. Die Struktur unterscheidet sich etwas von der nicht speziell strassenbezogenen in Kapitel 2.5.7 und orientiert sich wo sinnvoll und möglich an bestehenden Strukturierungen im schweizerischen Normenwerk. Dies sind insbesondere:

- Leistungsmodell gemäss SIA 112 [28]
- SN 506 512 Baukostenplan Tiefbau (BKP-T) [65] (siehe auch SN 605 500 Baukostenplan BKP 2001 sowie SN 506 502 Elementkostengliederung)
- Tätigkeitsverzeichnis Betrieblicher Unterhalt Nationalstrassen (ASTRA) [66]
- SN 641 826 Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen [67]

	Phase	Kostenarten und Kostentatbestände	Bemerkungen, Verweise
ENTWICKLUNG UND ERSTELLUNG	Entwicklung, Planung, Projektierung	Strategische Planung : - Bedürfnisforumlierung - Lösungsstrategien  Vorstudien : - Projektdefinition - Machbarkeitsstudien - Auswahlverfahren für Projektierungsarbeiten  Forschung und Entwicklung LZK-Analyse, KNA  Projektierung : - Vorprojekt - Bauprojekt - Bewilligungsverfahren/Auflageprojekt  Abklärungen / Koordination mit Behörden, Anrainern  Partizipative Verfahren  Projektmanagement, allg. Projektadministration	Phase 1 gemäss SIA 112 (Leistungsmodell)  Phase 2 gemäss SIA 112  soweit nicht anderswo integriert Phase 3 gemäss SIA 112  soweit nicht anderswo integriert  soweit nicht anderswo integriert soweit nicht anderswo integriert
	Erstellung (Ausschreibung und Realisierung)	Projektmanagement, Bauleitung, allg. Projektadministration  Ausschreibung und Vergabe  <i>Realisierung :</i>  Vorbereitungskosten : - Untersuchung, Aufnahme, Messung (BKP-T: L1) - Baustelleneinrichtung (L2) - Provisorium (inkl. Verkehrsmanagement) (L3) - Rückbau, Entsorgung Bauwerk (L4) - Wiederherstellung, Schadensbehebung (L5) - Gerüste (L6)  Materialkosten (Kauf oder Eigenfabrikation, inkl. Zubehör)  Software (Beschaffungskosten)  Baumassnahmen, Montage, Installation  Nebenkosten: - Bewilligung, Gebühren (BKP-T: W1) - Versicherung, Garantie (W2) - Kapitalkosten (W3) - Öffentlichkeitsarbeit, Entschädigungen, Bewachung (W4)	Phase 4 gemäss SIA 112  <i>Phasen 51/52 gemäss SIA 112</i>  Hauptgruppe Vorbereitung und zugehörige Elementgruppen gemäss Baukostenplan (BKP-T, SN 506 512)  (enthält auch Positionen, die während der gesamten Bauzeit oder erst zum Bauende anfallen)    Hauptgruppe Nebenkosten und zugehörige Elementgruppen gemäss Baukostenplan (BKP-T, SN 506 512)
	Inbetriebnahme	Betriebsvorbereitung, Werkzeug  Migrationskosten	Phase 53 gemäss SIA 112; Elementgruppe W5 gemäss Baukostenplan (BKP-T, SN 506 512)



Phase	Kostenarten und Kostentatbestände	Bemerkungen, Verweise
	Tests Abnahme und Inbetriebsetzung Ausbildung, Schulung, Coaching Nachkontrolle, Nacharbeiten	
BETRIEB, NUTZUNG, ERHALTUNG <sup>3</sup>	Betrieblicher Unterhalt  Objektbewirtschaftung (Daten, Dokumentenmanagement, Versicherung) Allg. Verwaltungskosten, „Overhead“ Arbeitsvorbereitung Grünpflege (inkl. Entsorgung) Winterdienst Wartung, Pflege, Reinigung Inspektionen, Kontrolle Kleine bauliche Reparaturen  Energie und Medien Raumkosten Software (wiederkehrende Lizenzgebühren, Support) Polizeiliche Verkehrsregelung und -überwachung  Ersatzteilbewirtschaftung (inkl. Beschaffungskosten) Störungen, Störfälle: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Überwachungskosten, Störfallmanagement</li> <li>- Kosten für Pikettdienste</li> <li>- Alarmierungs-, Rettungs- und Schadenwehrkosten, Warnkosten</li> <li>- Kosten der Störfallbehebung</li> <li>- Kosten während Störfallbehebung (Verkehrsdienst, ...)</li> <li>- Kosten der Wiederinbetriebnahme</li> </ul> Sonstige, oben nicht aufgeführte Kosten	Grundlagen, Normen: SN 641826 Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen Tätigkeitsverzeichnis Betrieblicher Unterhalt Nationalstrassen (AST-RA)  Sofortmassnahmen zur Substanzerhaltung  inkl. Verkehrsmanagement (Unterhalt der Signalisationsanlagen ist mehrheitlich in obigen Positionen enthalten)  soweit nicht anderswo integriert
	Baulicher Unterhalt  Über den normalen Instandhaltungsrahmen hinausgehende Kosten zur Verlängerung der Lebensdauer, ohne Ersatz Revisionen und andere lebensverlängernde Massnahmen Softwareupdates (inkl. Nachschulung)	Definition gemäss „Richtlinien für die Zuordnung von Tätigkeiten im Zusammenhang mit dem Unterhalt“ (ASB, 1993): Behebung von Schäden grösseren Ausmasses und Verschleisserscheinungen durch periodisch wiederkehrende Massnahmen ohne vollständigen Ersatz ganzer Teile. (Z.B. Spurrinnensanierungen, Fugensanierungen, Ersatz der Verschleisschicht, Ersatz von Brückenteilen, Behebung von Schäden an Tunnelzwischendecken, usw.)  <b>Da projektbasiert, sind wieder die Kostenarten gemäss Phasen „Entwicklung und Erstellung“ sowie des nachfolgenden Betriebs massgebend.</b>
	Erneuerung, Ausbau  Erneuerungen, Modernisierungen Ersatzinvestitionen Software : Kompletterneuerung, Ersatz (inkl. Migrations-, Schulungskosten)	<b>Es sind wieder die Kostenarten gemäss Phasen „Entwicklung und Erstellung“ sowie des nachfolgenden Betriebs massgebend.</b>

<sup>3</sup> Phase 6 gemäss SIA 112 (61: Betrieb, 62: Erhaltung)

Phase		Kostenarten und Kostentatbestände	Bemerkungen, Verweise
AUSSERBETRIEBNAHME, RÜCKBAU	Rückbau	Planungskosten für Rückbau und Entsorgung	
		Bewilligungen, Gebühren	
		Baustellenvorbereitung	
		Ausserbetriebsetzung, Stilllegung	
		Abbruch, Rückbau, Demontage, Logistik	
		Ersatzmassnahmen während Überbrückung	
		Zwischenlagerung, Entsorgung, Recycling	
		Dekontaminierung, Wiederherstellung Umgebung, Renaturierung	
		Restwert, Schrottwert	
		Verkaufskosten oder Umnutzungskosten	
		Umschulungen, Sozialplan bei Entlassungen	
		Sonstige (flankierende) Massnahmen	

**Abb. 3-6:** Systematik der Betreiberkosten

Um Varianten mit Hilfe der Lebenszykluskosten-Methode zu vergleichen, ist es nicht unbedingt nötig, sämtliche Kostenarten zu quantifizieren. Es kommt häufig vor, dass Varianten, welche dem gleichen Zweck dienen, sehr ähnliche Kostenniveaus aufweisen (beispielsweise in Bezug auf die betrieblichen Unterhaltskosten oder Herstellungskosten). Bezüglich Niveau und Zeitpunkt identische Kosten, welche bei sämtlichen zu betrachtenden Varianten vorkommen, müssen nicht zwingend quantifiziert werden. Sie haben keinen Einfluss auf das Ergebnis der mit Hilfe der LZK-Methode bewerteten Variantenunterschiede (siehe auch [63]).

### 3.3.2 Nutzerkosten und Kosten Dritter

#### Nutzerkosten

Insbesondere durch die Einrichtung und das Betreiben von Baustellen entstehen bei Strassenbenutzern Kosten durch Umleitungen, längere Fahrzeiten, höhere Stau- und grössere Unfallrisiken. Nutzerkosten in Form von Betriebserschwerungskosten können auch zustandsbedingt sein. Störungen und Ausfälle können die Verfügbarkeit einer Anlage einschränken und ihrerseits zu Zeitverlusten und Gefahren führen. Eine Anlage in schlechtem Zustand kann auch hinsichtlich ihrer Benutzbarkeit eingeschränkt werden – z.B. kann man bei einer Brücke das zulässige Fahrzeuggewicht beschränken, wodurch die betroffenen Verkehrsteilnehmer zu Umwegen gezwungen sind.

In der Praxis werden die genannten Kosten häufig nicht berücksichtigt. In Zeiten knapper öffentlicher Budgets zögern die Entscheidungsträger, Nutzerkosten bei einer Lebenszykluskostenbetrachtung mit einzubeziehen, da tiefere Nutzerkosten häufig mit höheren Betreiberkosten erkauft werden müssen. Die Nicht-Berücksichtigung wird unter anderem auch mit der fehlenden Möglichkeit begründet, Zeitverluste genau zu prognostizieren (vgl. z.B. [68]).

Für einen aussagekräftigen Vergleich zwischen Alternativen ist die Berücksichtigung jedoch unabdingbar, schliesslich ist es in erster Linie der Nutzen der Verkehrsteilnehmer, welcher als Begründung für die Investitionen in Verkehrsanlagen dient.

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über Arbeiten/Nachschlagewerke zu Methoden zur monetären Bewertung von Nutzerkosten.

Kostenarten	Grundlagen, Normen
Reisezeitkosten	SN 641 822a Zeitkosten im Personenverkehr SN 641 823: Zeitkosten im Güterverkehr
Unfallkosten (interne)	SN 641 824 Unfallraten und Unfallkostensätze
Fahrzeugbetriebskosten	SN 641 827 Betriebskosten von Strassenfahrzeugen

**Abb. 3-7:** Normen für die Bewertung von Nutzerkosten

### Kosten Dritter

Grundsätzlich sind auch die Kosten Dritter im Lebenszyklus von Strassenanlagen relevant, z.B. wenn Dritte durch Baustellenimmissionen oder durch Umwegverkehr belastet werden. Die schlechtere Zugänglichkeit von Wohnungen oder Geschäften während Bau- und Unterhaltsmassnahmen kann ebenfalls ein Kostenfaktor sein. Ausserdem wird die Allgemeinheit über die Unfall- und Krankenversicherungen an Unfallkosten beteiligt, mit denen im Baustellenbereich oder durch die Gefahren einer Verschlechterung des Anlagenzustands gerechnet werden muss.

Im Einzelfall ist zu prüfen, wie relevant solche Kosten Dritter bei der Beurteilung von Lebenszykluskosten sind. Dies nicht zuletzt auch, weil es sehr schwierig ist, verlässliche Bewertungen vorzunehmen. Ist eine monetäre Bewertung nicht möglich oder sinnvoll, kann allenfalls auch eine qualitative oder quantitativ beschreibende Bewertung erfolgen. Die Resultate werden dann in Relation zu den anderen Kostenarten gesetzt (siehe auch [68]).

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über Arbeiten/Nachschlagewerke zu Methoden zur monetären Bewertung von Kosten Dritter.

Kostenarten	Grundlagen, Normen
Externe Unfallkosten	SN 641 824 Unfallraten und Unfallkostensätze
Umweltkosten	SN 641 828 Externe Kosten

**Abb. 3-8:** Normen für die Bewertung von Kosten Dritter

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten möglichen Nutzerkosten und Kosten Dritter im Lebenszyklus einer Strassenanlage.

Phase		Kostenarten und Kostentatbestände (nicht abschliessend)	Bemerkungen, Verweise
ENTWICKLUNG, ERSTELLUNG	Entwicklung, Planung, Projek- tierung	keine	Phase 1 bis 3 gemäss SIA 112 (Leistungsmodell)
	Erstellung (Ausschreibung und Realisierung)	Fahrzeitverluste im Baustellenbereich Unfallkosten aufgrund der Baustelle Belastungen Dritter durch die Baustelle (Lärm, Schadstoffe)	Phase 4 und 51/52 gemäss SIA 112
	Inbetriebnahme	allenfalls wie in Phase Erstellung	Phase 53 gemäss SIA 112
BETRIEB, NUTZUNG, ER- HALTUNG	Betrieblicher Unterhalt	Fahrzeitverluste, Unfallkosten, Kosten Dritter bei Inspektions- und Wartungsar- beiten resp. bei Störfällen / Nichtverfüg- barkeit und Reparaturmassnahmen	
	Baulicher Unterhalt	Fahrzeitverluste, Unfallkosten, Kosten Dritter bei Unterhaltmassnahmen	
	Erneuerung, Ausbau	Fahrzeitverluste, Unfallkosten, Kosten Dritter bei Erneuerungs- und Ausbau- massnahmen	
RÜCKBAU	Rückbau	allenfalls Fahrzeitverluste, Unfallkosten, Kosten Dritter während Ausserbetriebnahme, allfälligen Überbrückungsmassnahmen und Rückbau	

**Abb. 3-9:** Systematik der Nutzerkosten und der Kosten Dritter

### 3.4 Life Cycle Costing für Strassen: Standortbestimmung

Im Folgenden werden einige Anwendungsbeispiele für LZK-Betrachtungen von Strassenanlagen gezeigt.

#### 3.4.1 Fahrbahn

Beim Life Cycle Costing für Fahrbahnen geht es häufig um Beläge, bei denen eine höhere Lebensdauer mit höheren Investitionskosten erkaufte werden muss.

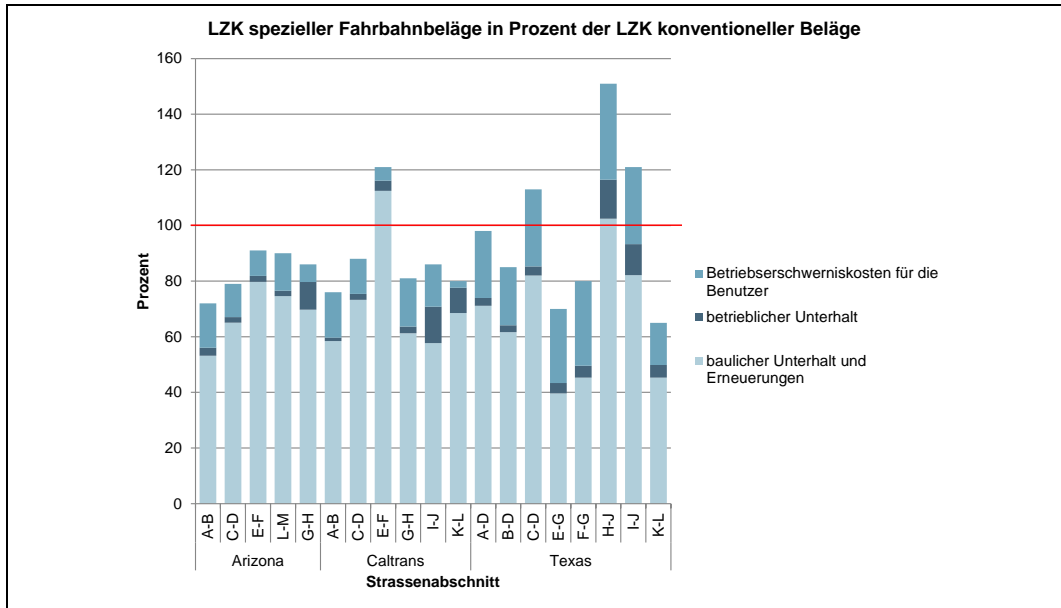
Ein im Auftrag der Federal Highways Administration (FHWA) erstelltes Handbuch (US Department of Transport, Walls/Smith [69]) gilt als US-Standardwerk für LZK-Analysen bei der Gegenüberstellung von Alternativen im Fahrbahndesign. Als relevante Kosten werden bezeichnet

- die Baukosten einschliesslich Planung, Projektmanagement und Bauleitung
- zukünftige Kosten des Betriebs und des präventiven Unterhalts einschliesslich Belagersatz und anderen Erneuerungen, ebenfalls inklusive Administration und Management
- Mehrkosten für die Verkehrsteilnehmer durch Baustellen und Umwege während der initialen Ausführung sowie während späterer Unterhalts- und Erneuerungsmassnahmen (Fahrzeugbetriebskosten, Kosten durch Zeitverluste sowie Unfallkosten)
- Ein allfälliger Restwert am Ende des Betrachtungszeitraums ist im Sinne eines „salvage value“ als Erlös aus der Wiederaufarbeitung des Fahrbahnmaterials zu berücksichtigen.

Das Handbuch stipuliert eine dynamische Ausgabenrechnung mit Diskontierung der jährlichen Kostenbeträge und dem Vergleich von Nettobarwerten. Vorschriften zur Länge des Betrachtungszeitraums werden nicht gemacht. Dem Anwender ist auch überlassen, ob er mit nominalen oder realen Kosten rechnen will.

Dem Anwender wird nahegelegt, ungewisse Inputs – Lebensdauer, Preise, Verkehrsmengen, Unfallraten und Diskontsatz – auf risikoanalytischem Wege zu bestimmen und unter Berücksichtigung von Erwartungswerten und Wahrscheinlichkeitsverteilungen in die Kalkulation aufzunehmen. Dabei sind Abhängigkeiten (z.B. Lebensdauer und Verkehrsmenge) zu berücksichtigen. Mit geeigneten Verfahren (Monte Carlo, Latin Hypercube) lässt sich das Berechnungsergebnis dann ebenfalls als Verteilungskurve darstellen.

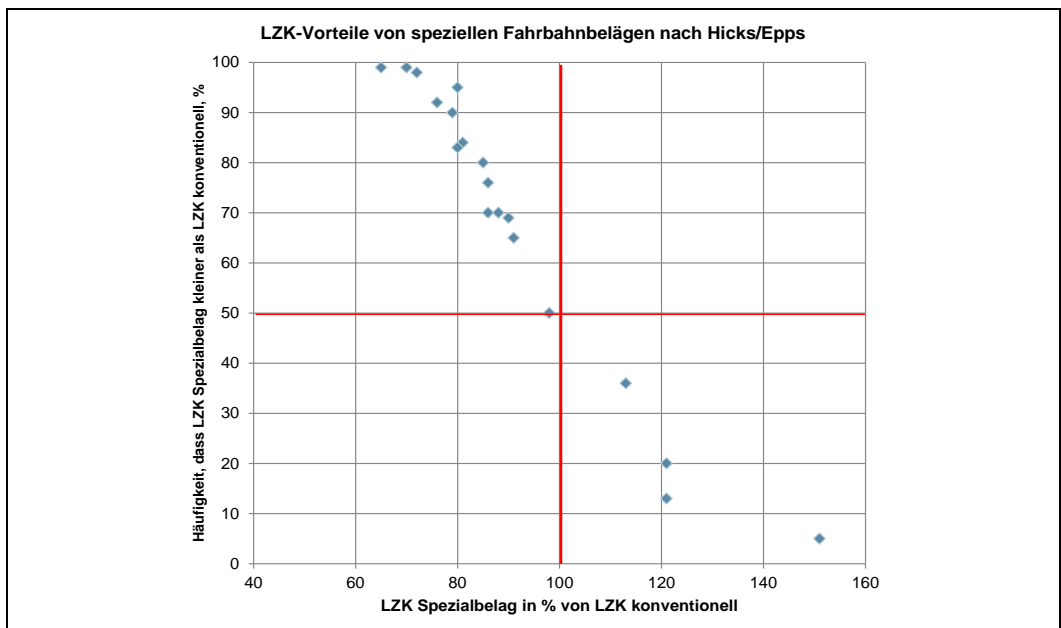
Eine frühe Anwendung der Empfehlungen aus dem FHWA-Handbuch [69] findet sich bei Hicks/Epps [70]. Sie liefert weitere Aufschlüsse über die Struktur der Lebenszykluskosten von Fahrbahnen und erlaubt den Vergleich eines deterministischen Bewertungsergebnisses mit einem probabilistischen Ansatz. Hicks/Epps vergleichen die Lebenszykluskosten von Varianten für den Belagersatz auf verschiedenen Strassenabschnitten über einen Betrachtungszeitraum von 40 Jahren.



**Abb. 3-10:** Struktur der Lebenszykluskosten von Fahrbahnbelägen, nach [70]. Man beachte den geringen Kostenanteil des betrieblichen Unterhalts

Im Ergebnis von Hicks/Epps haben die Erneuerungskosten ein grosses Gewicht. Die Kosten des betrieblichen Unterhalts spielen so gut wie keine Rolle. Der Anteil der Nutzerkosten aufgrund von Betriebserschwernissen bewegt sich überwiegend zwischen 10% und 20%. Das Bewertungsergebnis bleibt im Wesentlichen aber gleich, wenn man nur die Betreiberkosten betrachtet.

Hicks/Epps vergleichen ihr deterministisches Bewertungsergebnis mit dem im FHWA-Handbuch empfohlenen risikoanalytischen Ansatz. Es zeigt sich, dass die Bewertungsergebnisse in dieselbe Richtung gehen: bei Fahrbahnen mit Spezialbelägen, deren Lebenszykluskosten in der deterministischen Bewertung deutlich niedriger sind als die einer konventionellen Lösung, ist die Häufigkeit, mit der auch bei Parametervariationen ein günstiges Ergebnis erzeugt wird, immer deutlich über 50%.

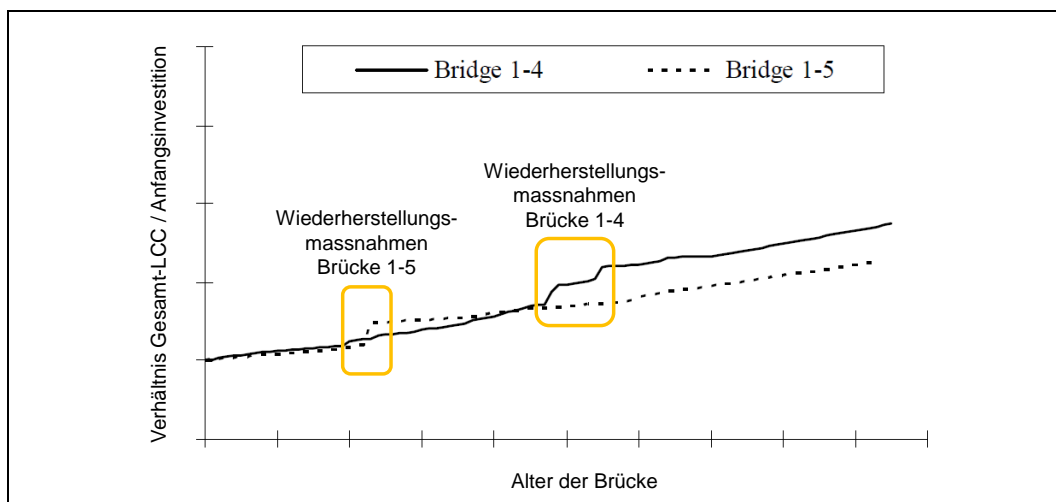


**Abb. 3-11:** Vergleich der deterministischen und der probabilistischen LZK-Bewertung bei Hicks/Epps [70]

### 3.4.2 Brücken

Ansätze des Life Cycle Costing bei Brücken unterscheiden sich nur wenig von denen bei Fahrbahnen. Im Gegensatz zur Fahrbahn besteht eine Brücke aus sehr viel mehr Komponenten, von denen jede einzelne ihren eigenen Lebenszyklus haben kann und die gemeinsam die Lebensdauer der Brücke beeinflussen. Ein weiterer Unterschied ist, dass die Zustandsentwicklung und der Entscheid, wann welche Erhaltungsmaßnahmen nötig sind, wesentlich ungewisser sind als bei Fahrbahnen. Die neuere Literatur geht besonders auf diesen Sachverhalt ein und enthält Verfahren, mit denen der Erhaltungsverlauf einer Brücke unter dieser Unsicherheit modelliert werden kann.

Zhang et al. [71] [72] haben die Lebenszykluskosten von Brücken rückblickend betrachtet und dabei ausführliche historische Daten über Reparaturen, Unterhalt und Erneuerungen einbezogen. Ihre Beispiele deuten darauf hin, dass die kumulierten Betreiberkosten mit zunehmendem Alter des Bauwerks überproportional steigen und dass präventiv durchgeführte Wiederherstellungsmassnahmen die Gesamt-Lebenszykluskosten einer Brücke zu senken vermögen.



**Abb. 3-12:** Einfluss von Wiederherstellungsmassnahmen auf die Lebenszykluskosten von beweglichen Brücken, aus [72]. Die frühzeitige Wiederherstellung von Brücke 1-5 führt in diesem Beispiel dazu, dass die Kosten in den folgenden Jahren geringer sind als bei Brücke 1-4, die erst später wieder hergestellt wird

In [71] vergleichen Zhang et al. die Lebenszykluskosten von Tunnels und Brücken, um zu prüfen, ob sich Tunnelverbindungen langfristig als kostengünstigere Möglichkeit erweisen, um zwei durch Wasser getrennte Gebiete miteinander zu verbinden. Es zeigt sich, dass die Tunnels im untersuchten Beispiel auch bei einem Betrachtungszeitraum von 70 Jahren noch erheblich höhere Lebenszykluskosten pro Quadratmeter oder Fahrspur aufweisen als die Brücken. Allerdings verringert sich die Differenz mit den Jahren.

Für die Prognose der Lebenszykluskosten von Brücken finden sich eher klassische, deterministische Ansätze in Arbeiten von Yunovich et al. [73] sowie in der US-amerikanischen BridgeLCC-Software [74]. Probabilistische Ansätze, bei denen die Lebenszykluskosten von Brücken in Abhängigkeit von der stochastischen Zustandsentwicklung über die Prognose des wahrscheinlichen Bedarfs an Erhaltungsmaßnahmen bestimmt werden, finden sich z.B. bei Setunge et al. [75], Estes et al. [76] und Morcoux et al. [77].

Bei Yunovich et al. [73] geht es um die Bestimmung der Lebenszykluskosten und Auswahl der optimalen Strategie bezüglich Unterhalt und Erneuerung der Fahrbahnplatte für ein „durchschnittliches“ Brückenbauwerk. Die Komponente Fahrbahnplatte steht im Vordergrund, weil Korrosion als wesentlicher Kostentreiber beim Betrieb und Unterhalt von Strassenbrücken angesehen wird (bei den betrachteten Stahlbetonbrücken dient die Fahrbahnplatte gleichzeitig als Korrosionsschutz; deshalb hat der Fahrbahnzustand

Auswirkungen auf den Zustand der Armierung). Yunovich et al. vergleichen verschiedene Material- und Unterhaltsvarianten (und deren diverse Kombinationen) auf der Basis der durchschnittlichen Jahreskosten. Dabei werden Annahmen an Abnutzungsverläufe und Lebensdauern getroffen. Unterhaltsstrategien werden informations- oder erfahrungsba- siert definiert (Massnahmen als Resultat von Beobachtungen/Erhebungen oder als lang- fristig geplantes Programm). Betrachtet werden entweder nur die Betreiberkosten oder die Betreiberkosten und Betriebserschwerungskosten für die Verkehrsteilnehmer; diese Nutzerkosten fallen sowohl bei sich verschlechterndem Fahrbahnzustand als auch wäh- rend der Sanierungsarbeiten an. Je nachdem, ob Betriebserschwerungskosten einbezogen werden oder nicht, können sich unterschiedliche Bestvarianten ergeben. In Yunovichs Analyse sind die Betriebserschwerungskosten für die Verkehrsteilnehmer deutlich höher als die Bauherrenkosten.

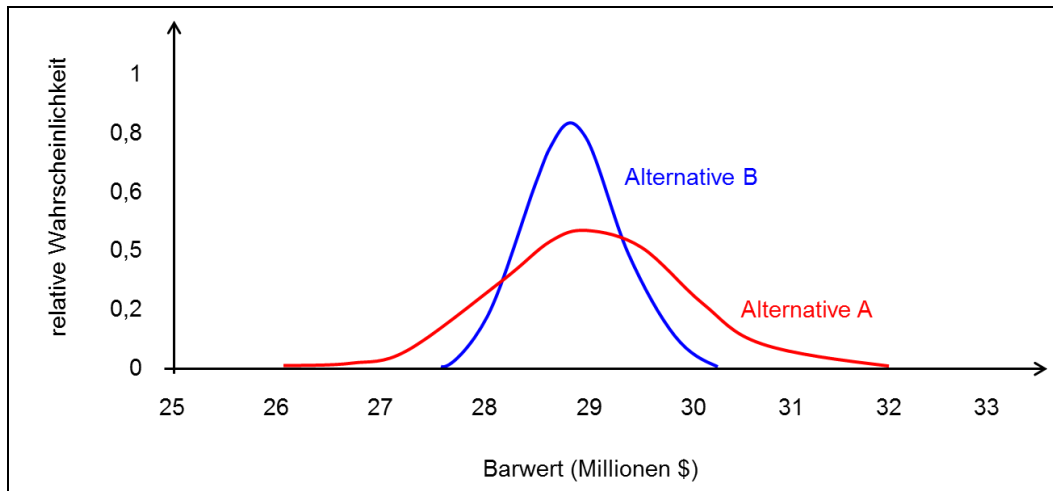
Mit der BridgeLCC-Software [74] können verschiedene Varianten z.B. von Brückenbauar- ten oder Erhaltungsstrategien miteinander verglichen werden. Die relevanten Kostenele- mente sind manuell zu bestimmen. Die Kosten selbst werden mit vorgegebenen Werten oder als manuell einzugebende Elementkosten berechnet. Dabei können auch Kosten- bandbreiten ( $\pm x\%$ ) angegeben werden. Technische Rahmenbedingungen wie Belastun- gen, Geschwindigkeiten, Unfallhäufigkeiten oder Einschränkungen in der Bauphase ge- hen als Kosteneinflüsse in das Modell ein. Erhaltungszyklen sind manuell einzugeben – Zeitpunkte, Dauer der Massnahmen, Kosten, Auswirkungen auf Verkehr. Die Kostenun- sicherheiten werden mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen berücksichtigt; Unsicherhei- ten hinsichtlich der technischen Rahmenbedingungen oder der Reparaturzeitpunkte wer- den anhand von Sensitivitätsanalysen beurteilt. In dieser Hinsicht erlaubt das Modell dann auch Aussagen über die Robustheit der Resultate. BridgeLCC ist ein relativ um- fangreich gestaltetes Instrument, welches den Anwender unter anderem auch dabei un- terstützt, die Lebensdauer einzelner Elemente abzuschätzen.

Ein typisches Beispiel für die Gestaltung der Lebenszykluskosten findet sich bei Setunge et al. [75]. Die Autoren haben eine Methodik zur Bestimmung der Lebenszykluskosten und zur Ermittlung der günstigsten Unterhalts- und Erneuerungsstrategie auf der Basis eines probabilistischen Ansatzes entwickelt. Darin gehen die Anfangs-(Bau-)kosten, Un- terhalt, Reparaturen, Versagenskosten einschliesslich der Betriebserschwerungskosten für die Nutzer ein. Die Unterhalts- und Reparaturkosten hängen von Versagenswahrschein- lichkeiten ab, die ihrerseits funktional abhängig von Belastungen und Belastbarkeiten sind; Versagenszeitpunkte und damit Versagenskosten sind Zufallsvariablen. Unsichere Werte gehen mit ihren statistischen Eigenschaften (Mittelwert und Standardabweichung) in das Modell ein.

Das Massnahmenspektrum zur Reaktion auf ein festgestelltes Defizit besteht in: Nichts tun, Nutzung beschränken, flicken und beobachten, ausbauen/verstärken, Komponente oder ganzes Bauwerk erneuern. Diese Massnahmenalternativen unterscheiden sich in ih- ren Auswirkungen auf den Bauwerkszustand nach der Massnahme und auf die Folgen für die Nutzer. Bei sich verschlechterndem Zustand steigen die Wahrscheinlichkeit des Versagens und damit die stochastischen Versagenskosten. Der Erwartungswert der Ver- sagungskosten geht als Bestandteil der gesamten Lebenszykluskosten in die Optimierung ein.

Die Auswertung erfolgt nach der Monte-Carlo-Methode. Dabei werden anhand der Wahr- scheinlichkeiten verschiedene Wertekombinationen ausgewählt und jeweils ein diskretes Resultat für jede Kombination berechnet; der Vorgang wird so lange wiederholt, bis die Resultate konvergieren. Als Ergebnis erhält man Verteilungsfunktionen der Lebenszyk- luskosten für die Alternativen, wie in der Abbildung unten dargestellt. Über den Vergleich der Erwartungswerte hinaus können so Aussagen über die Zuverlässigkeit des Resultats, Konfidenzbereiche und Sensitivitäten (Variabilität der Outputgrössen bei Variation der In- putdaten) getroffen werden.





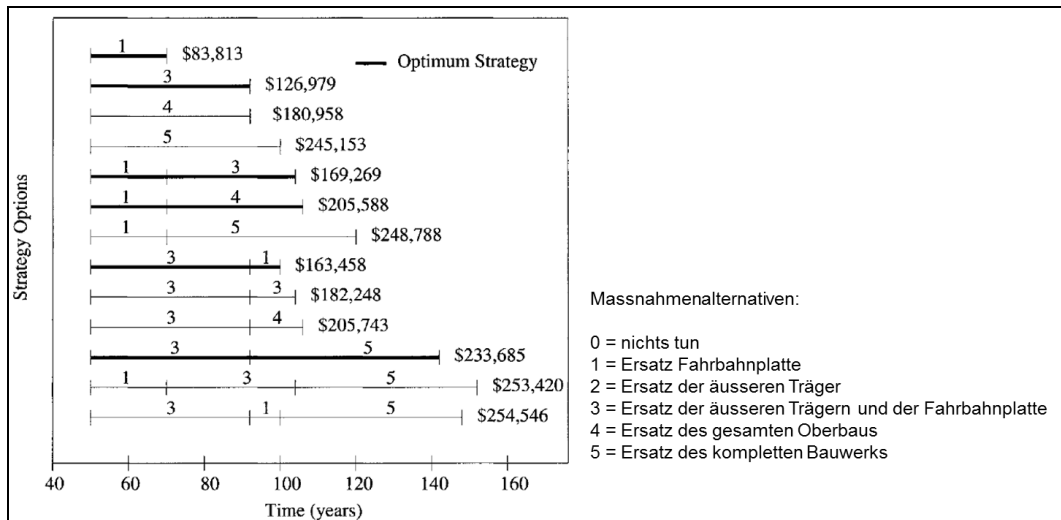
**Abb. 3-13:** Verteilungskurven der Lebenszykluskosten zum Vergleich von Brückenvarianten [75]. Ein tieferer Barwert mit geringer Unsicherheit („schmale“ Glockenkurve) kann dazu führen, dass eine Alternative einer anderen mit grösserer Unsicherheit vorgezogen wird

Estes et al. [76] schlagen einen probabilistischen Ansatz zur Optimierung von Reparatur- und Unterhaltseingriffen auf Basis der Systemzuverlässigkeit von Brücken vor, wobei die gegenseitigen Abhängigkeiten der einzelnen Komponenten berücksichtigt werden.

Den einzelnen Komponenten des Brückenbauwerks werden Zuverlässigkeitsindizes (abgeleitet aus Versagenswahrscheinlichkeiten) zugeordnet. Diejenigen Einflussgrößen werden bestimmt, die für die Funktion bzw. das Versagen der einzelnen Komponenten ausschlaggebend sind. Diese Einflussgrößen sind Zufallsvariablen und werden anhand ihrer statistischen Parameter (Mittelwert, Varianz) charakterisiert.

In Bezug auf die Funktionstüchtigkeit des Gesamtsystems wird das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten bestimmt. Dabei gibt es „serielle“ oder „parallele“ Verknüpfungen, die Aussagen wie „wenn a und b versagen, versagt das Gesamtsystem“ oder „wenn a oder b, versagen versagt das Gesamtsystem“ erlauben. Auch die Zustände der einzelnen Komponenten korrelieren.

Bei Unterschreitung einer bestimmten Mindest-Systemzuverlässigkeit müssen bestimmte Massnahmen durchgeführt werden (von „nichts tun“ bis „Brücke ersetzen“). Gemäss dem stochastischen Zustandsverlauf der Komponenten können so unterschiedliche Unterhalts- und Erneuerungsstrategien definiert werden. Diese werden einander mit ihren Kosten und ihren Auswirkungen auf die System-Lebensdauer gegenübergestellt. So lässt sich die Unterhalts- und Erneuerungsstrategie ermitteln, die die gewünschte Lebensdauer mit den geringstmöglichen Kosten erreicht.



**Abb. 3-14:** Erhaltungskosten für eine Brücke für unterschiedliche Nutzungsdauern und bestimmte Versagensmodelle, aus [76]

Morcous et al. [77] prüfen stochastische Modelle zur Prognose des Zustandsverlaufs auf der Basis von Markov-Ketten für die Anwendung in der Lebenszykluskostenanalyse von Beton-Fahrbahndecken von Brücken. Markov-Ketten zeichnen sich dadurch aus, dass sie den Zustand einer Komponente zu einem bestimmten Zeitpunkt aus dem Zustand der Vorperiode und einem Vektor ableiten, der Umwelt- und Verkehrsbedingungen sowie die getätigten Unterhaltsmassnahmen berücksichtigt. Zentrales Element ist dabei die Definition von Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den Zuständen zweier aufeinanderfolgender Perioden. Diese Übergangswahrscheinlichkeiten werden für fünf diskrete Zustände des Brückendecks, vier diskrete Umweltparameter und drei denkbare Unterhalts- und Erneuerungsstrategien aus historischen Daten ermittelt.

Anhand der von ihnen analysierten Daten schliessen die Autoren, dass Ansatz und Annahmen auf einer übergeordneten (Netz-) Ebene hinreichend genaue Kostenangaben liefern, auf der Ebene einzelner Objekte jedoch keine ausreichende statistische Evidenz aufweisen.

### 3.4.3 Tunnel

Ein Tunnel ist wahrscheinlich das komplexeste Stück Strasseninfrastruktur. Zur Tunnelröhre und zur Fahrbahn kommt die Betriebs- und Sicherheitsausrüstung hinzu (vgl. Kapitel 3.4.4). Vor allem diese trägt mit kurzen Lebensdauern zu den in den letzten Jahren beobachteten hohen Folgekosten von Tunnels bei.

Im Systementscheid – soll man unterirdisch oder oberirdisch bauen? – sind grundsätzliche Überlegungen zu den Lebenszykluskosten massgebend. Die Tunnelröhre hat eine längere Lebensdauer als eine oberirdische Strasse mit vielen Kunstbauten; Fahrbahn und Anlagen im Tunnel sind keinen Witterungseinflüssen ausgesetzt; die Linienführung ist direkter und kürzer möglich. Eine direktere und kürzere Linienführung bedeutet natürlich auch niedrigere Betriebskosten auf der Nutzerseite; allenfalls lassen sich Steigungen vermeiden und dadurch zusätzliche Energie einsparen; schliesslich ist die Fahrzeit kürzer, was typischerweise ebenfalls als Kosteneinsparung ausgedrückt wird [78]. Da somit erhebliche funktionale Systemunterschiede bestehen können, die für die Verkehrsteilnehmer unterschiedlichen Nutzen haben, sind reine LCC-Überlegungen aber nicht mehr zielführend; der Systementscheid braucht eine weitergehende Kosten-Nutzen-Analyse.

Allerdings sind Tunnels sowohl im Bau als auch in Betrieb und Erhaltung sehr teuer. Die jährlichen Kosten für den betrieblichen Unterhalt eines Tunnels schätzt das schweizerische Bundesamt für Strassen auf 2% der Anfangsinvestition. Auf der Nordumfahrung Zürich sind nach 25 und 35 Jahren Betrieb der bestehenden Röhren am Gubristtunnel Wiederherstellungsmassnahmen nötig (Sanierung der bestehenden Tunnelröhren und Er-

neuerung der Betriebs- und Sicherheitsausrüstung), die insgesamt kaum weniger kosten als seinerzeit der Neubau. Andere Beispiele für teure Erhaltungsmassnahmen liefern der Gotthardtunnel, der Seelisbergtunnel und der Belchentunnel.

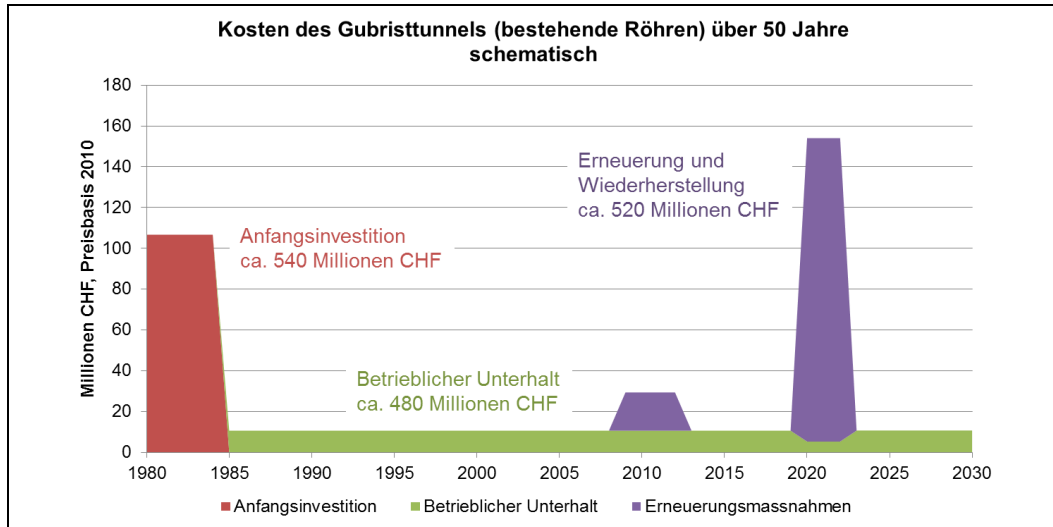


Abb. 3-15: Kosten des Gubristtunnels über 50 Jahre, zu Preisen von 2010 (diverse Quellen)

Petterson [79] hat Betriebs- und Instandhaltungskosten von Tunnels anhand von zwei Beispielen aus Dänemark analysiert, dem Limfjordtunnel und dem Guldborgsund-Tunnel. Es handelt sich um zwei relativ kurze Absenktunnel unter Meeresarmen, jeweils mit zwei Röhren à zwei Fahrstreifen. Der Limfjordtunnel ist seit 42 Jahren in Betrieb; in dieser Zeit wurden für den Betrieb (Stromversorgung, Reinigung, Sicherheitsmassnahmen, Auswechseln von Einzelteilen) und für Instandhaltung (planmässige Massnahmen zur Wahrung des technischen Standards und zur Umsetzung neuer Standards) Mittel aufgewendet, die mehr als dem Doppelten der Baukosten auf heutiger Preisbasis entsprechen. Beim Guldborgsund-Tunnel entsprechen die kumulierten Betriebskosten nach 24 Jahren 19% und die kumulierten Instandhaltungskosten 11% der Baukosten.

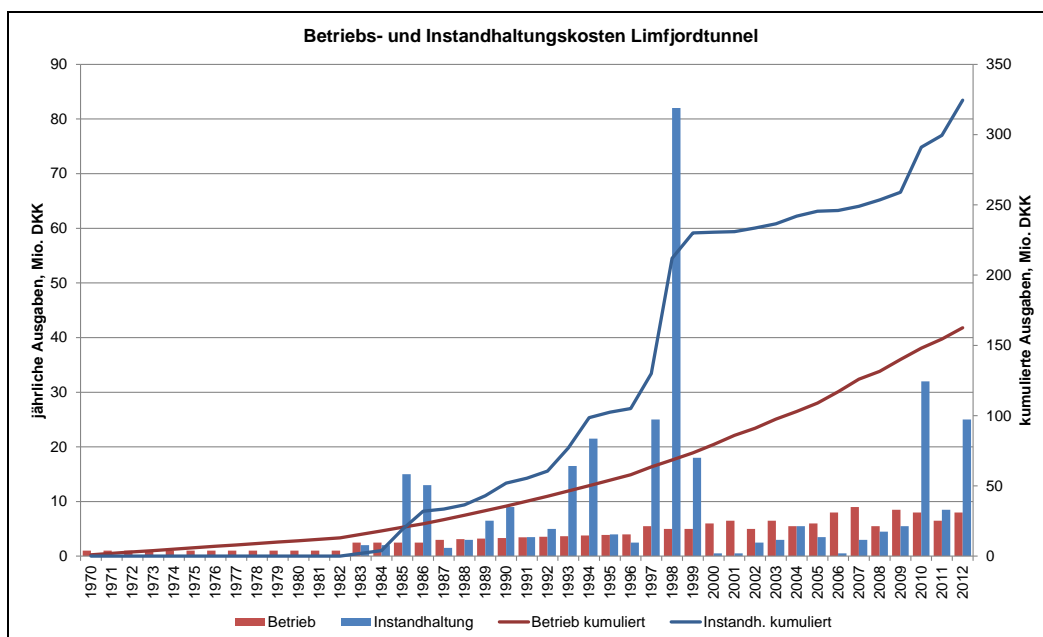


Abb. 3-16: Betriebs- und Instandhaltungskosten Limfjordtunnel [79]

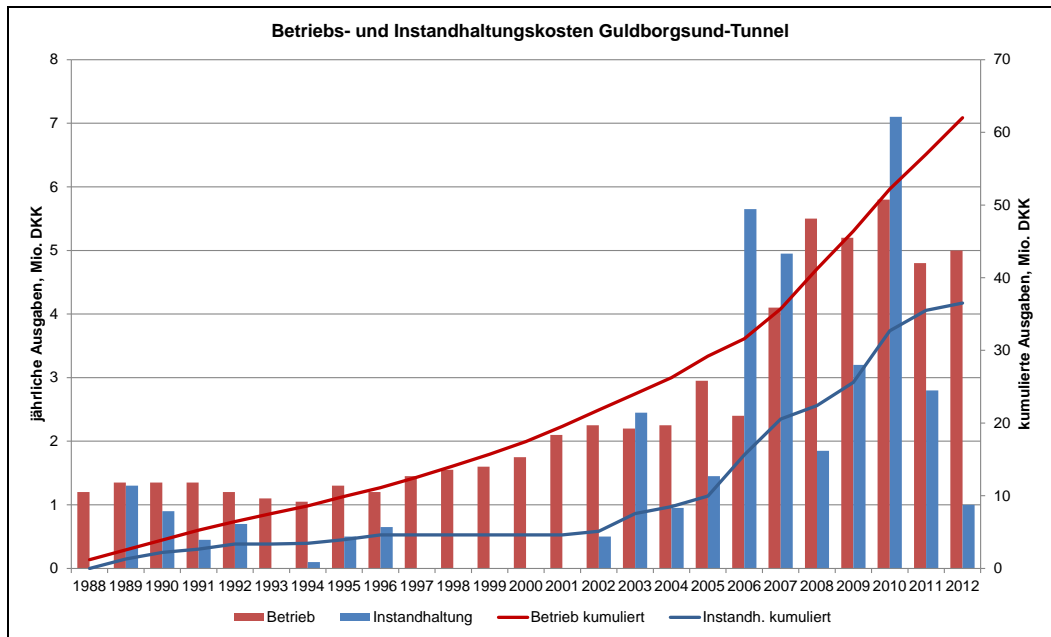


Abb. 3-17: Betriebs- und Instandhaltungskosten Guldborgsunds-Tunnel [79]

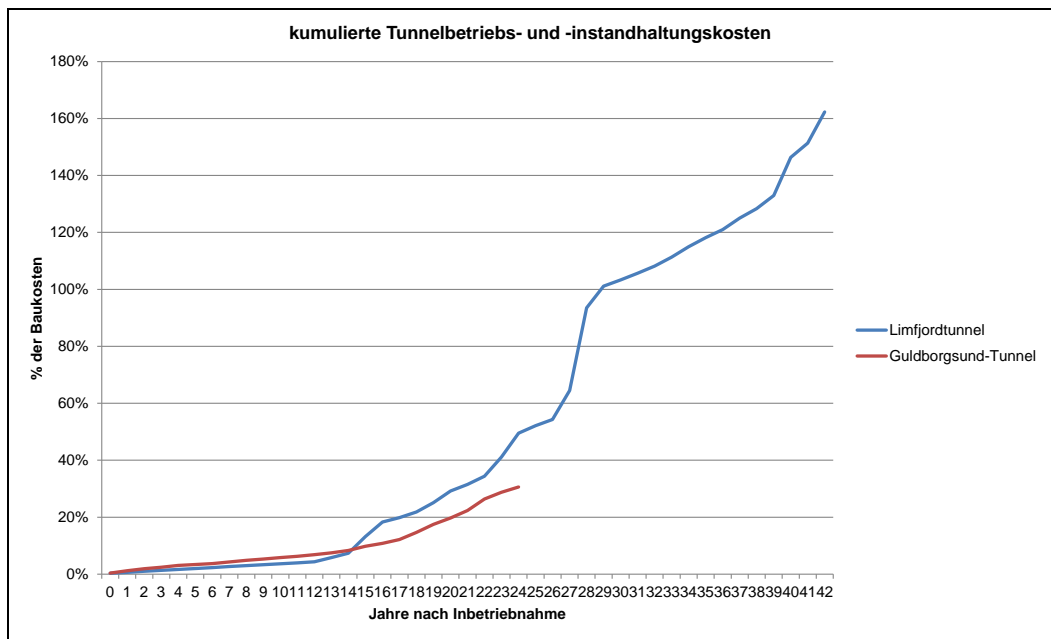


Abb. 3-18: Kumulierte Betriebs- und Instandhaltungskosten von Tunneln in Dänemark, in Prozent der Baukosten (nach [79])

Tunnel sind das Paradebeispiel für Infrastrukturanlagen mit vielen Teilsystemen, die sehr unterschiedliche Lebensdauern haben: vom Ausbruch mit einer quasi unendlichen Lebensdauer über den Ausbau, die Fahrbahn und Entwässerung bis hin zu der Betriebs- und Sicherheitsausrüstung mit der kürzesten Lebensdauer. Ein wesentliches Thema des Life Cycle Costing ist daher die Abstimmung der Erneuerungsintervalle.

### 3.4.4 Betriebs- und Sicherheitsausrüstung

Die grossen Erhaltungsprojekte vor allem von Nationalstrassentunnels zeigen, dass die Lebenszykluskosten der Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) ausserordentlich hoch sein können. Eine effiziente Erhaltung der BSA wird in Zukunft insbesondere durch die zunehmenden Belastungen der Verkehrsnetze und die komplexeren Betriebsführungen akzentuiert. Zudem ist die Lebens- bzw. Nutzungsdauer der BSA wesentlich kleiner,

und die Anforderungen / Rahmenbedingungen ändern insbesondere aufgrund des technischen Fortschritts schneller als bei den übrigen Teilsystemen der Strassenanlagen.

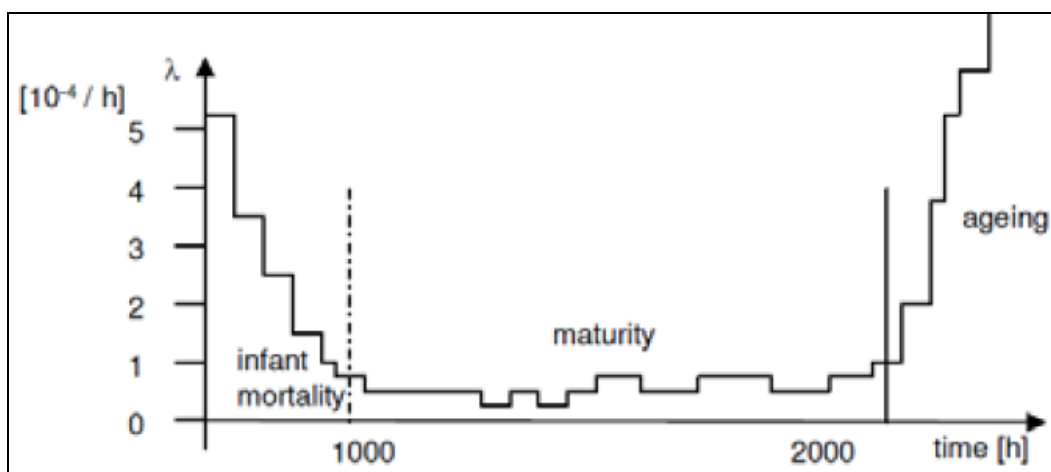
Bei den Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen werden gemäss Anlagenkennzeichnungssystem Schweiz AKS-CH [80] folgende Anlagentypen unterschieden:

- Beleuchtung
- Energieversorgung
- Kabelanlage (Infrastruktur)
- Kommunikation & Leittechnik
- Lüftung
- Nebeneinrichtung
- Signalisation
- Überwachungsanlage

Die BSA können bezüglich Lebenszykluskosten aus drei Perspektiven betrachtet werden: Aus Sicht eines einzelnen Anlagentyps, aus Sicht des Gesamtsystems BSA und aus übergeordneter Sicht zusammen mit Tunnel, Fahrbahn, etc.

Grundsätzlich handelt es sich bei den BSA um klassische technische Anlagen, für welche Ansätze zum Life Cycle Costing früher entwickelt wurden als für die Strasse als Ganzes. Entsprechend wird hier auch auf Kapitel 2 verwiesen.

In der Literatur existiert einiges an empirischen Untersuchungen zur Lebensdauer und den damit verbundenen Kosten verschiedener BSA-Komponenten. So befasst sich zum Beispiel ein Forschungsbericht von Amstein+Walthert mit den zu erwartenden, wirtschaftlich vertretbaren Nutzungsdauern von technischen Ausrüstungen in Tunnels [81] und stellt durchschnittliche Nutzungsdauern von 15 bis 25 Jahren fest. In einer Studie von Welte et al [82] werden Lebenszykluskostenaspekte von elektrischen Tunnelausrüstungskomponenten behandelt. Je besser die Kenntnisse über typische Lebenszykluskurven einzelner Komponenten ist, desto besser und zuverlässiger kann dies bei der Planung berücksichtigt werden. Beispielsweise wird darauf hingewiesen, dass die Entwicklung der Ausfallsrate von Komponenten im BSA-Bereich typischerweise in „Badewannenform“ verläuft (vgl. Abbildung unten).



**Abb. 3-19:** Typische Entwicklung der Ausfallsrate  $\lambda$  mit der Zeit („Badewannenkurve“) (Quelle: [82])

Weiter wird auf das Zusammenspiel der RAMS-Kriterien (vgl. Kapitel 2.6.4 und 4.2.3) hingewiesen. So ist z.B. die Verfügbarkeit einer Anlage abhängig von der Zuverlässigkeit gewisser Systemkomponenten, welche über redundante Ausgestaltung erhöht werden kann. Und empirische Daten zeigen, dass sich der präventive Unterhalt grundsätzlich positiv auf die Ausfallsrate auswirkt. Als wichtige Erkenntnis wird der häufig unterschätzte

Einfluss von Umweltfaktoren behandelt. Insbesondere die Raum- resp. Betriebstemperatur hat einen grossen Einfluss auf die Alterung des Materials. Weitere Einflussfaktoren sind mechanischer Stress, Luftfeuchtigkeit und der Salzgehalt der Luft.

Ein weiterer Schwerpunkt der Forschung liegt bei Unfallkosten und Risiken. Je nach Fokus stehen dabei nur einzelne BSA-Elemente oder das Tunnelsystem als Ganzes im Vordergrund. Beispielsweise wurde im Rahmen des Forschungsprojekts SOLIT (Safety Of Life In Tunnels) ein „Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen sowie deren Planung“ [83] erstellt. Die LZK werden – wie meistens – als Summe aus Investitions- und Unterhaltskosten und allfälligen weiteren Kosten verstanden. Auch Nichtverfügbarkeitskosten sind zu berücksichtigen. Es wird empfohlen, bereits in einer frühen Planungsphase zu prüfen, ob Betriebstechnik einen entscheidenden Einfluss auf den Rohbau haben kann. Weiter wird darauf hingewiesen, dass eine wichtige Datengrundlage zur Optimierung der Betriebs-, Instandhaltungs- und Sanierungskosten (inkl. Bestimmung geeigneter Zeitpunkte für Modernisierungen und Sanierungen) die bestehende Kostenhistorie des Bauwerks darstellt.

Anhang 6 des Abschlussberichts von SOLIT befasst sich mit Lebenszykluskosten technischer Ausrüstung und ganzheitlicher Bewertung [84] und beschreibt ein Modell zur ganzheitlichen Erfassung und Ermittlung von LZK für unterirdische Infrastruktur. Die Kosten der verschiedenen Komponenten – unterschieden werden Initialkosten, Betriebs- und Funktionserhaltungskosten sowie Austauschkosten – sind abhängig von verschiedenen Variablen wie z.B. dem Austauschgrad. Der Austauschgrad drückt aus, wie die Kosten eines Austauschs im Vergleich mit jenen der Erstinstallation stehen. Wenn z.B. vorhandene Hilfsbauteile wie Strom- oder Datenkabel ihre Nutzungsdauer noch nicht erreicht haben und weiter genutzt werden können, liegt der Wert für die Variable Austauschgrad vermutlich unter 1.0. Dargestellt werden können die Kosten in einer sogenannten Zeit-/Kostenmatrix, wo für die verschiedenen Komponenten die zeitpunktabhängigen Formeln, aber auch die resultierenden LZK (nominal, diskontiert) aufgeführt werden. Berücksichtigt wird im Modell auch die Schwankungsbreite der (Initial-)Kosten in Abhängigkeit des Planungsfortschrittes.

Das Fachkonzept „Managementsystem für die Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen der Schweizer Nationalstrassen (EMS-CH)“, des ASTRA [85] behandelt vor allem die Instandhaltung von BSA. An verschiedenen Stellen kommt darin das Thema Risikobewertung vor und im Anhang wird ein Modell beschrieben, welches für die risikobasierte Instandhaltung geeignet ist. Der Schritt zu den LZK wird aber nicht gemacht.

### 3.4.5 Spezialfälle

#### Fahrzeugrückhaltesysteme

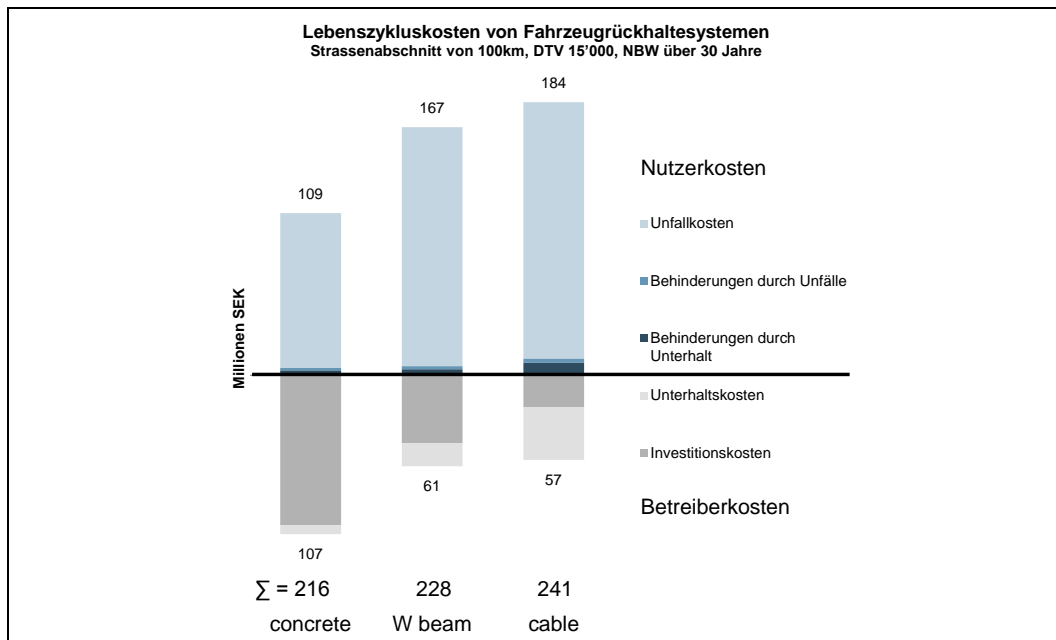
Hawzheen Karim [86] hat an Projektbeispielen in Schweden die Lebenszykluskosten von Fahrzeugrückhaltesystemen verglichen. Dabei geht es weniger um die Frage, welches System die niedrigsten Lebenszykluskosten hat, sondern eher um die Einflussgrößen und Kostentreiber sowie um die Frage, unter welchen Umständen welches System von Vorteil ist. Die Ergebnisse illustrieren, wie wesentlich die Fragestellung und die Systemabgrenzung für die Lebenszykluskostenbeurteilung ist.

Karim vergleicht Betonbarrieren (“concrete”), Leitplanken aus W-förmigen Stahlprofilen (“W beam”) und Kabelbarrieren (“cable”). In die Lebenszykluskostenanalyse gehen ein

- Investitionskosten
- Unterhaltskosten (Reinigung, präventive Massnahmen und Reparaturen)
- Kosten von Betriebseinschränkungen während Unterhaltsmassnahmen
- Kosten von Betriebseinschränkungen durch Verkehrsunfälle
- Unfallkosten (Sachschäden und Verletzte)

Die Lebenszykluskosten werden für einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren dargestellt. Sie sind als Gegenwartswert (Nettobarwert) angegeben; zukünftige Kosten sind mit einem Satz von 4% pro Jahr diskontiert.

In der folgenden Abbildung sind die von Karim ermittelten Kosten bezogen auf einen 100 km langen, von durchschnittlich 15'000 Fahrzeugen pro Tag befahrenen Strassenabschnitt in Millionen schwedischen Kronen dargestellt.



**Abb. 3-20:** Lebenszykluskosten von Fahrzeugrückhaltesystemen (eigene Darstellung nach [86]). Technische Lebenszykluskosten reichen für die Beurteilung von Lösungen nicht aus, wenn diese zusätzliche Vorteile – hier: Sicherheitsgewinne – bringen

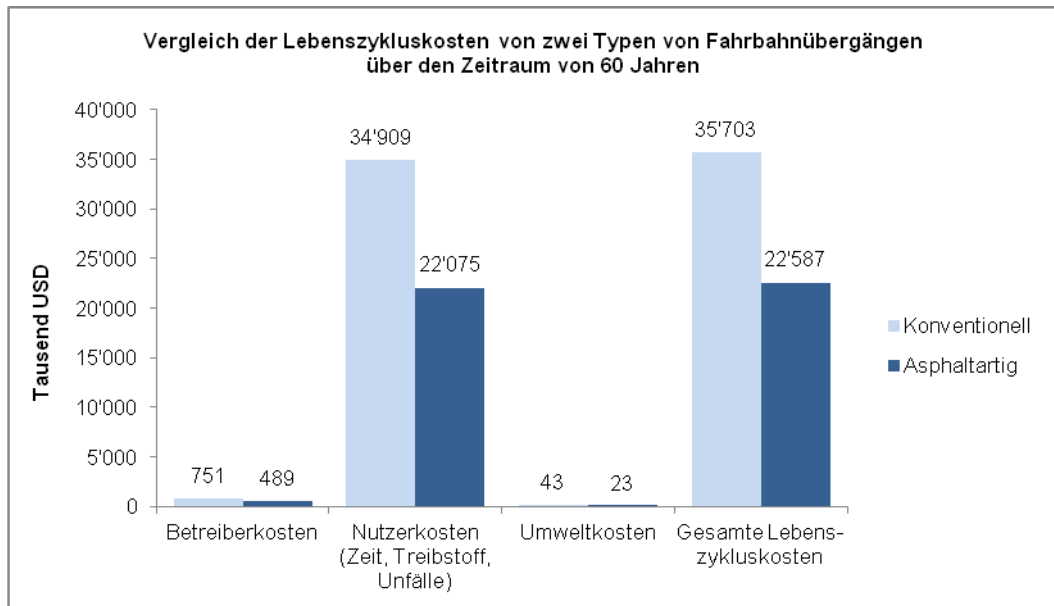
Rein aus Betreibersicht ermittelt Karim einen Kostenvorteil für Kabelsysteme. Sie haben die niedrigsten Investitionskosten; ein Vorteil, den selbst die relativ hohen Unterhaltskosten nicht ins Negative kehren können. Betonbarrieren haben – trotz niedriger Unterhaltskosten – wegen der sehr hohen Investitionskosten aus der Betreiberperspektive die höchsten Lebenszykluskosten.

Das Bild ändert sich jedoch komplett, wenn zusätzlich die sozioökonomischen Kosten in die Analyse einbezogen werden. Nun wird die Gesamtbewertung von den Unfallkosten geprägt. In diesem Fall haben laut Karim die Betonbarrieren den klaren Kostenvorteil, weil bei ihnen die Unfallkosten am niedrigsten sind; sie vermindern vor allem das Risiko tödlicher Unfälle. Allerdings hängt das Ergebnis stark von der Verkehrsmenge ab. Unterhalb eines DTV von etwa 10'000 Fahrzeugen kommt der Verkehrssicherheitsgewinn der Betonbarrieren nicht mehr so stark zum Tragen, so dass Leitplanken oder Kabelsysteme niedrigere Lebenszykluskosten aufweisen.

Das Beispiel zeigt, dass die Betrachtung nur von technischen Lebenszykluskosten möglicherweise nicht zu einer optimalen Entscheidung führt. Hier hat sich herausgestellt, dass die Prämisse einer gegebenen Funktionalität nicht gültig ist; die Betonbarrieren haben einen zusätzlichen Vorteil, der eine weitergehende Kosten-Nutzen-Analyse erfordert.

### Fahrbahnübergänge

Keoleian, G.A. et al. [61] befassten sich mit den Lebenszykluskosten von Fahrbahnübergängen. Für ein nicht näher beschriebenes Beispiel einer Brücke werten sie die Betreiberkosten der Fahrbahnübergänge, die Betriebserschwerungskosten für die Benutzer während Bau und Unterhalt sowie Umweltkosten über einen Betrachtungszeitraum von 60 Jahren aus. Ein System mit asphaltartigem Fugenverschluss weist im Modell erheblich geringere Kosten auf als ein System mit konventionellem mechanischen Stahlverschluss.



**Abb. 3-21:** Lebenszykluskosten von Fahrbahnübergängen (eigene Darstellung nach [61])

Die Betreiberkosten und Umweltkosten werden im Beispiel von den Nutzerkosten dominiert. Offenbar rechnet man bei Bau- und Unterhaltsarbeiten mit erheblichen Verkehrseinschränkungen durch Staus, wodurch der Treibstoffverbrauch steigt und Zeitverluste (Opportunitätskosten) entstehen. Das ist natürlich stark vom Verkehrsaufkommen abhängig.

Die Analyse von Keoleian et al. [61] zeigt, dass eine gute Planung der jeweils notwendigen Unterhalts- und Reparaturarbeiten für eine faire LZK-Beurteilung von Alternativen von grosser Bedeutung ist. In diesem Beispiel drängt sich eine Kombination von baulichen Massnahmen am gesamten Brückenbauwerk auf, um den Verkehr seltener und für kürzere Dauer einschränken zu müssen.

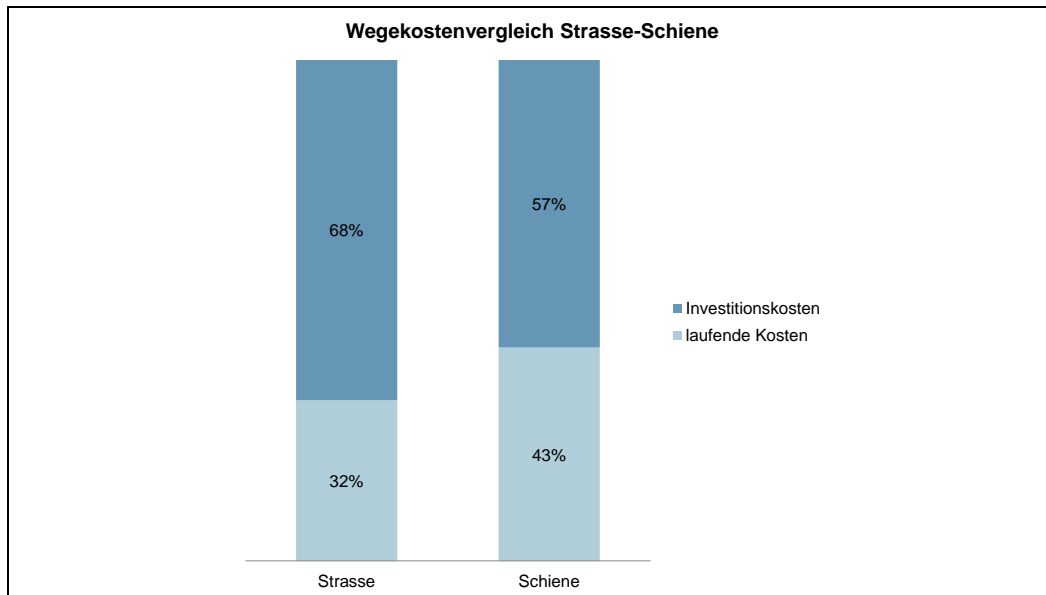
### 3.4.6 Strassenrelevante LCC-Ansätze bei anderen Verkehrsträgern

Andere Verkehrsträger – Schifffahrt, Luftfahrt und Eisenbahn – liefern weitere Beispiele für LCC-Ansätze. Bei Wasserwegen und Häfen sowie bei Flugsicherung und Flughäfen spielt das Life Cycle Costing grundsätzlich die gleiche Rolle wie bei der Strasse, mit dem Unterschied, dass es bei Häfen und Flughäfen teilweise auch um privatwirtschaftlich betriebene Anlagen geht, bei denen Facility Management, Erlöse und eine stärkere unternehmerische Sichtweise zum Tragen kommen.

Die Eisenbahn ist jedoch in sofern interessant, weil hier Überlegungen zu den Lebenszykluskosten ausgehend vom Management der Fahrzeugflotten früher zum Tragen gekommen sind und eine grössere Rolle gespielt haben als bei den Strassen. Bei der Eisenbahn sind deshalb schon früh spezielle Aspekte und Ansätze entwickelt worden, die sich möglicherweise auch auf das Life Cycle Costing von Strassen übertragen lassen.

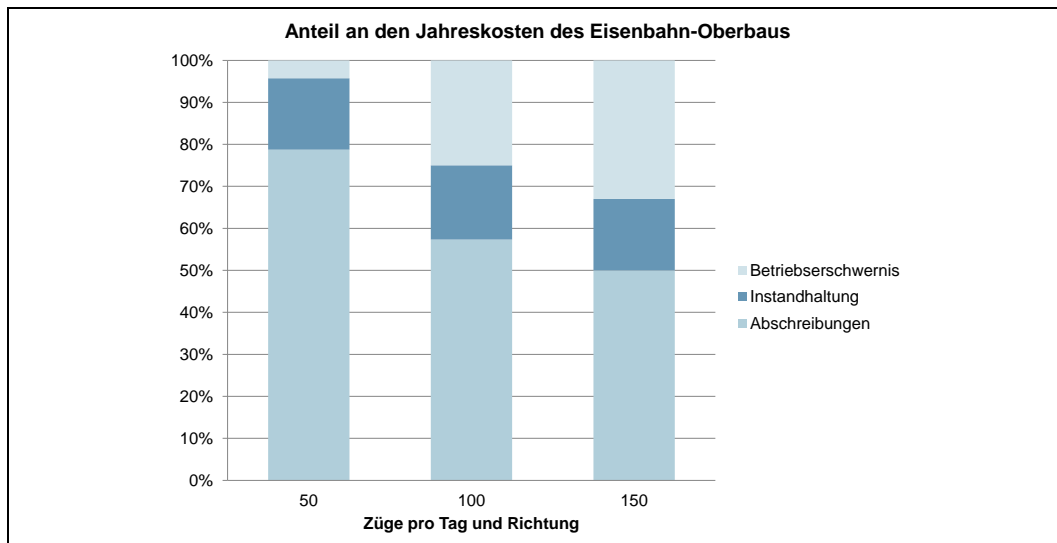
Die Fahrbahn der Eisenbahn enthält sehr viel mehr mechanische Komponenten, die einen hohen Instandhaltungsaufwand erfordern, die Eisenbahnsicherungstechnik ist nicht nur instandhaltungs-, sondern auch betriebsaufwändig, und die Fahrstromversorgung stellt eine spezielle Infrastrukturkomponente dar, die es bei der Strasse nicht gibt. Daher haben Betriebskosten gegenüber den Investitionskosten tendenziell ein etwas grösseres Gewicht als bei der Strasse, und LZK-Überlegungen sind entsprechend wichtiger.





**Abb. 3-22:** Wegkostenvergleich Strasse-Schiene (Deutschland 2007 [87]). Der Anteil der laufenden Kosten ist bei der Eisenbahn grösser als bei der Strasse

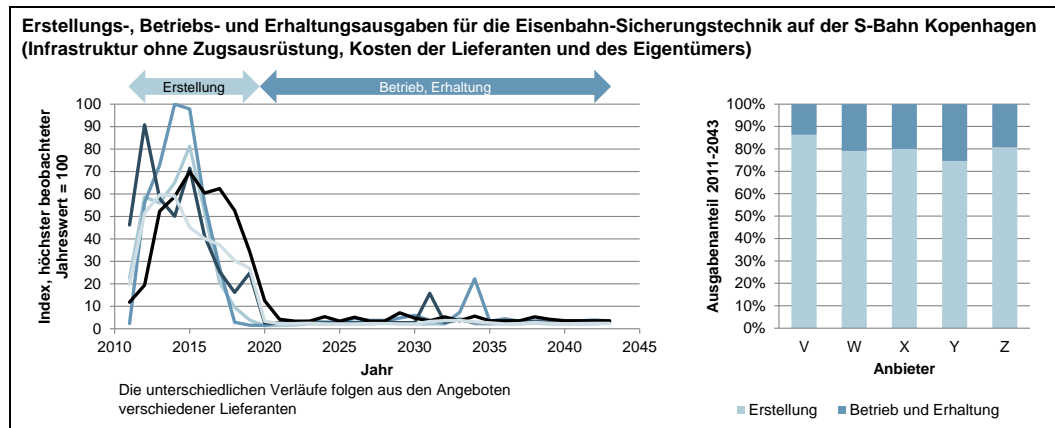
Wesentlich für die Lebenszykluskosten der Schiene ist aber auch, dass Störungen und bauliche Massnahmen wegen der Bindung an Gleis und Fahrplan grossen Einfluss auf den Betrieb haben und entweder hohe Betriebserschwerungskosten nach sich ziehen oder Instandhaltungsmassnahmen speziell teuer machen. Veit [88] zeigt, wie stark die Bedeutung der Betriebserschwerung mit wachsendem Verkehr zunimmt.



**Abb. 3-23:** Analyse gegenwärtiger Jahreskosten des Eisenbahn-Oberbaus verschieden stark belasteter zweigleisiger Strecken, nach [88]. Störungen und Unterhaltsarbeiten ziehen auf stark belasteten Strecken hohe Betriebserschwerungskosten nach sich

Wie auch Veit festhält, bleiben die Investitionskosten trotz der relativ grossen Bedeutung des Betriebs doch auch bei der Eisenbahn-Infrastruktur dominant. Das zeigt sich sogar in Bereichen wie der Sicherungstechnik, deren Betrieb aufgrund der hohen Anforderungen an Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit speziell aufwändig ist. Ein Beispiel liefert das Signalprogramm in Dänemark, wo die gesamte Eisenbahn-Sicherungstechnik in den nächsten Jahren komplett mit neuen Systemen ersetzt wird. Im Rahmen von Design-Build-Maintain-Verträgen sind die Lieferanten nicht nur zur Erstellung, sondern auch für den grössten Teil von Betrieb und Erhaltung verantwortlich. Die eingegangenen Angebote

haben gezeigt, dass es zwar durchaus unterschiedliche Auffassungen über die Instandhaltungs- und Erhaltungsstrategien gibt, dass aber die Betriebs- und Erhaltungskosten über die 25 Jahre der angenommenen durchschnittlichen Lebenserwartung der neuen Systeme recht einhellig auf nur 15-25% der Erstellungskosten geschätzt werden. Die Abbildung unten zeigt als Beispiel die S-bahn Kopenhagen, wo der Ersatz der Sicherungstechnik 2011 begonnen hat und 2019 abgeschlossen sein soll.



**Abb. 3-24:** Erstellungs-, Betriebs- und Erhaltungsausgaben für die Sicherungs-Infrastruktur der S-Bahn Kopenhagen. Betrieb und Erhaltung haben trotz allem auch bei der Bahn einen relativ kleinen Anteil an den Lebenszykluskosten

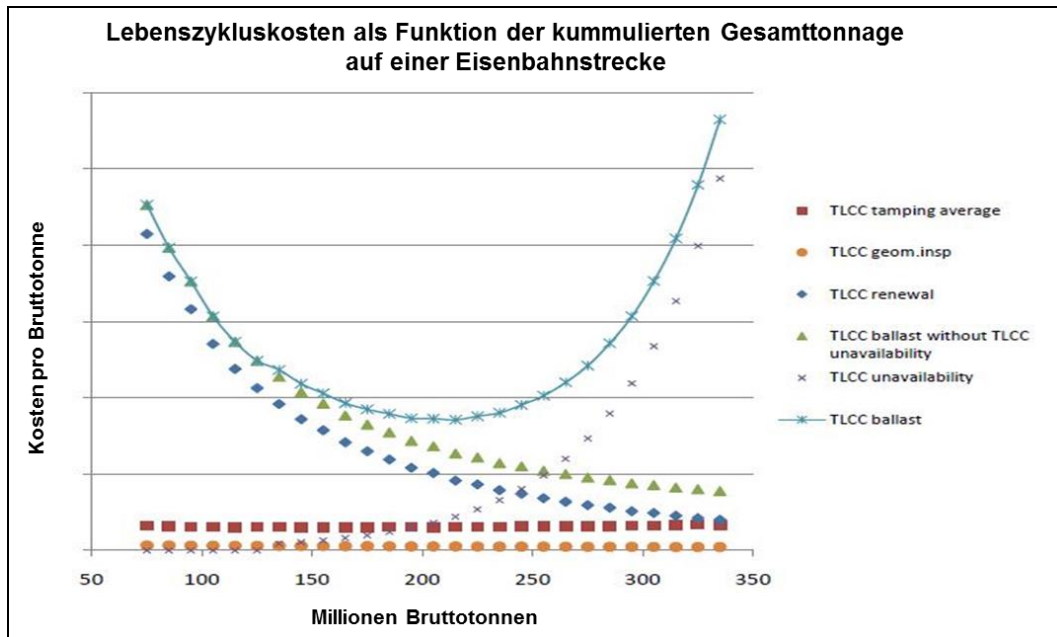
Angesichts der hohen Investitionskosten liegt es nahe, dass bei der Eisenbahn Massnahmen zur Erhöhung der Lebensdauer von Komponenten, z.B. Schienenschleifkampagnen, eins der wichtigsten Themen Lebenszykluskosten sind. Weitere vieldiskutierte Themen sind die Feste Fahrbahn mit hohen Investitionen, aber wesentlich weniger Instandhaltungsausgaben für die Gleislage als beim Schottergleis, die Massnahmenbündelung ggf. vor Ablauf der technischen Lebensdauer, um Betriebserschwerungskosten klein zu halten, oder Investitionen in Zentralisierung und Automatisierung der Betriebsführung, um die Betriebsführungskosten zu senken und die Systemzuverlässigkeit zu erhöhen. Übrigens zeigt sich bei der Feste Fahrbahn speziell, welchen Einfluss die Systemabgrenzung auf den Entscheid hat. Feste Fahrbahn erlaubt engere und steilere Trassierungen als ein Schottergleis und kann damit helfen, teure Kunstbauten zu vermeiden.

Sehr viele Ansätze entsprechen methodisch dem, was auch bei den meisten LZK-Analysen für Strassenanlagen zur Anwendung kommt. Die meisten der von Steinegger [89] beschriebenen Ansätze beruhen wie die meisten der Ansätze im Strassenbereich auf der Diskontierung von Ausgabenströmen bzw. auf der Bildung von Annuitäten (Rentenbarwerten). Auch die Modelle von Veit [88] stellen die Lebenszykluskosten als Annuitäten langfristiger Cashflows dar.

Neben den klassischen Ansätzen erwähnt Steinegger [89] aber auch einen speziellen Ansatz zur Beurteilung von Lebenszykluskosten, der vor allem im Vergleich von grossen, schon lange bestehenden Infrastrukturnetzen verwendet wird. Der Ansatz fusst auf dem Grundgedanken der langfristigen Werterhaltung. Befinden sich diese Netze in einem „eingeschwungenen“ Zustand mit einer Vielzahl von Anlagen mit gleichmässiger Altersverteilung (d.h. gleiche Anteile von Anlagen, die soeben neu erstellt bzw. erneuert wurden, und Anlagen, deren Erneuerung unmittelbar bevorsteht), können die jährlichen Gesamtausgaben für betrieblichen Unterhalt und Erneuerung als Indikator der Lebenszykluskosten herangezogen werden. Voraussetzung ist, dass der Gesamtzustand der Netze langfristig gleich bleibt und sich tendenziell weder verschlechtert noch verbessert.

Ein Beispiel für eine spezielle Sicht auf die Lebenszykluskosten, die man bei der Eisenbahn gelegentlich antrifft, liefert die Arbeit von Andrade [90]. Andrade stellt die Lebenszykluskosten in Funktion der kumulierten Gesamtbelastung (Bruttotonnen) auf einer Eisenbahnstrecke dar. Während in frühen Lebensphasen bei tiefen Instandhaltungskosten und wenig Störungen der degressive Effekt der mit den Jahren akkumulierten Belas-

tion dominant ist – die Kosten pro Bruttotonne nehmen mit zunehmender Belastung ab, weil die fixen Erneuerungskosten durch immer grössere Tonnagewerte geteilt werden – führen Qualitätsverluste und immer häufigere Instandhaltungseingriffe irgendwann einmal dazu, dass sich dieser Trend umkehrt – die Kosten pro Bruttotonne nehmen mit zunehmender Belastung zu. Die Funktion der Lebenszykluskosten in Abhängigkeit von der kumulierten Gesamtbelastung hat also einen U-förmigen Verlauf mit einem definierten Minimum. Dies liefert einen Hinweis darauf, wie lange und stark man eine Eisenbahnstrecke belasten sollte, bis man sie erneuert, um minimale Lebenszykluskosten zu erhalten.



**Abb. 3-25:** Lebenszykluskosten von Eisenbahnschotter als Funktion der kumulierten Gesamttonnage auf einer Eisenbahnstrecke, aus [90]. TLCC = total life cycle cost

### 3.4.7 Fazit zur Standortbestimmung

Die ausgewählten Beispiele zur Standortbestimmung zeigen folgendes:

- Zur Bestimmung der LZK wird im Wesentlichen zwar meist vergleichbar vorgegangen, in verschiedenen Details gibt es jedoch Unterschiede.
- Etabliert ist überall die Summenbildung der auf der Zeitachse anfallenden Kosten über einen bestimmten Betrachtungszeitraum. Auch die Diskontierung der Kostenströme ist etabliert.
- Bei den zu berücksichtigenden Kostenarten besteht mehrheitlich Konsens, dass auch Nutzerkosten und Kosten Dritter zu berücksichtigen sind. Es gibt jedoch Ausnahmen.
- Die Voraussetzungen zur korrekten Anwendung der LZK, wie sie in der vorliegenden Forschungsarbeit definiert werden (gleicher funktionaler Nutzen aller Varianten), sind meistens eingehalten. Es kommt jedoch vor, dass auch Varianten mit unterschiedlichem funktionalem Nutzen einander anhand der LZK gegenübergestellt werden, obwohl hier eine weitergehende Kosten-Nutzen-Analyse das richtige Instrument wäre.
- Die grössten methodischen Unterschiede sind bei der Berücksichtigung von Risiken und Unsicherheiten zu finden. Es finden sich deterministische und probabilistische Ansätze, einfache Sensitivitätsanalysen und komplexe risikoanalytische Verfahren wie z.B. mittels Monte Carlo-Methode.
- In verschiedenen Bereichen (z.B. BSA, Tunnel) bestehen Bestrebungen, für die Risikobewertung standardisierte Modelle zu entwickeln resp. einzusetzen.
- Es zeigt sich die Wichtigkeit ...
  - ... einer guten Aufarbeitung der Grundlagen resp. einer guten Planung der zu vergleichenden Varianten.
  - ... sich zu Beginn intensiv mit der Definition von Fragestellung und Systemgrenze auseinander zu setzen, da diese grossen Einfluss auf das Resultat haben können.
  - ... des Einbezugs der Nutzerkosten. Häufig sind diese entscheidend für die Variantenwahl.
- Bei komplexen Systemen mit Elementen unterschiedlicher Lebensdauer und/oder Abhängigkeiten hat eine möglichst gute Abstimmung der Elemente aufeinander entscheidenden Einfluss auf die Kosten.
- Umwelteinflüsse wie z.B. Raumtemperatur oder Salzgehalt der Luft können einen wichtigen Einfluss auf die Lebensdauer resp. Kosten von Elementen haben.
- Empirische Daten zu Zustandsentwicklung, Versagenswahrscheinlichkeiten, etc. ermöglichen es, zuverlässigere probabilistische Modell zu entwickeln und die Unsicherheiten zuverlässiger quantifizieren zu können.
- Unter bestimmten Voraussetzungen kann es ein möglicher Ansatz sein, die Funktion der Lebenszykluskosten in Abhängigkeit der kumulierten Gesamtbelastung (z.B. Bruttotonnen) darzustellen, wobei die Funktion einen U-förmigen Verlauf mit einem definierten Minimum aufweist.

Gesamthaft zeigt sich, dass eine Vereinheitlichung der methodischen Grundlagen wünschenswert wäre.

### 3.5 Besonderheiten der LZK-Betrachtung im Strassenmanagement

In Kapitel 2 werden an verschiedenen Stellen Gemeinsamkeiten und Differenzen des LCC im Strassenmanagement gegenüber anderen Branchen angesprochen. In diesem Kapitel wird nochmals spezifisch auf einige wichtige Besonderheiten im Strassenmanagement eingegangen, welche Einfluss auf die Methodik des LCC haben.

#### Zweck der Bereitstellung der Strasseninfrastruktur

Ziel der Bereitstellung der Strasseninfrastruktur ist nicht die Gewinnmaximierung im betriebswirtschaftlichen Sinne, sondern die aus volkswirtschaftlicher Sicht Kosten-/Nutzenoptimale Bereitstellung der Ressource Strassenverkehrsanlage als Grundlage für Mobilität und sich daraus ergebendem Wertschöpfungsprozess unter Einbezug und Abwägung sämtlicher gesellschaftlicher Interessen. Aus diesem Grund sollte bei der Betrachtung der LZK im Strassenmanagement eine volkswirtschaftliche Sichtweise eingenommen werden, weshalb neben den Betreiberkosten auch die Nutzerkosten und die Kosten Dritter einbezogen werden sollen.

#### Staat als Eigentümer

Eigentümer der Strasse ist in der Schweiz im Normalfall der Staat (Bund, Kantone, Gemeinden) (Ausnahme: Privatstrassen). Die entsprechenden Eigenheiten sind im Prozessablauf des LCC zu berücksichtigen (viele verschiedene Stakeholder wie Anwohner, Verbände, Wirtschaft, Umwelt, z.T. komplizierte und langdauernde Entscheidungsprozesse, etc.).

#### Keine abschnitts- oder objektbezogenen Einnahmen

Der (öffentliche) Strassenraum ist in der Schweiz bisher für jedermann frei zugänglich<sup>4</sup>, besitzt aber nur eine beschränkte Kapazität. Es handelt sich damit um ein Allmendegut, bei welchem (bisher) kein abschnitts- oder objektbezogener Nutzungsbeitrag erhoben wird. Das heisst, die Nichtverfügbarkeit einer Strecke führt nicht zu Mindereinnahmen beim Betreiber. Damit gibt es aus rein betriebswirtschaftlicher Sicht kein Argument für den Betreiber, die Nichtverfügbarkeit zu minimieren. Andererseits ist es auch kein betriebswirtschaftliches Ziel, eine bestehende Anlage maximal mit Verkehr auslasten zu können. Das heisst auch, dass die im Rahmen des LCC insbesondere bei Maschinen herangezogene Gesamtanlageneffektivität (OEE) im Strassenmanagement nicht generell verwendbar ist (vgl. Kapitel 2.5.5).

Da es dennoch wünschenswert ist, die Verfügbarkeit der Infrastruktur möglichst hoch zu halten, muss der Entscheidungsträger Kriterien definieren, nach denen er die „Nichtverfügbarkeit“ bewertet.

#### Lange Betrachtungszeiträume

Die Strasse als Verkehrsverbindung ist ein sehr langlebiges Gut, bei welchem auch am Lebensende der Materialien resp. Teilobjekte häufig kein Rückbau, sondern ein Ersatz resp. eine komplette Erneuerung anschliesst. Auch die Objekte selbst sind tendenziell langlebig (z.B. Tunneln, Brücken). Für die LZK-Analyse resp. das Life Cycle Costing sind entsprechend lange Betrachtungszeiträume zu wählen. Da mit zunehmendem Betrachtungszeitraum auch die Unsicherheiten zunehmen, ist der Beurteilung dieser entsprechend hohes Gewicht beizumessen.

#### Hohe Bedeutung der Investitionskosten

Wie in Kapitel 3.4.3 und 3.4.6 gezeigt wurde, haben die Investitionskosten bei der Strasseninfrastruktur ein relativ hohes Gewicht. Das heisst, die Kostenminimierung bei den eigentlichen Erstellungs- und Erneuerungsinvestitionen hat ein höheres Gewicht als diejenige bei den Betriebs- und Unterhaltskosten.

<sup>4</sup> Abgesehen von den Nationalstrassen, wo als Voraussetzung eine Autobahnvignette zu lösen ist.



## 4 Rahmenbedingungen zum Einsatz von LZK bei Strassenverkehrsanlagen

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Rahmenbedingungen behandelt, über welche zum korrekten Einsatz des Life Cycle Costing Klarheit hergestellt werden muss. Es werden drei Kategorien von Rahmenbedingungen unterschieden:

- **System und Umfeld** (Kapitel 4.1): Das System, die Systemzusammenhänge, Schnittstellen, Koordinationsbedarf und -möglichkeiten, Verantwortungsbereiche und die relevanten Stakeholder müssen bekannt sein.
- **Vorgaben** (Kapitel 4.2): Festgelegt sein müssen die zu berücksichtigenden Vorgaben, welchen den Rahmen abstecken, innerhalb dessen die LZK minimiert werden können. Die Vorgaben müssen beim LCC für alle Varianten identisch sein. Unterschieden werden hier: gesetzliche Vorgaben, Nutzungsziele, Qualitätsvorgaben, Kosten- und Budgetvorgaben, zeitliche Vorgaben sowie weitere politische Vorgaben.
- **Trends / dynamische Einflussparameter** (Kapitel 4.3): Verschiedene Parameter weisen eine gewisse zeitliche Dynamik auf (Verkehrsentwicklung / Nutzungsintensität, Zustandsentwicklung, technischer Fortschritt, Preisentwicklung). Diese ist in Form von Prognosen geeignet zu berücksichtigen.

### 4.1 System und Umfeld

#### 4.1.1 Betreiber

In Kapitel 3.1.2 wurde auf das Thema sich überschneidender Verantwortungsbereiche und damit verbundener Fragestellungen eingegangen. Um die **Systemabgrenzung** für die LZK-Betrachtung sinnvoll festlegen zu können, muss Klarheit über Eigentumsverhältnisse, Verantwortungs- / Kompetenzbereiche und Schnittstellen herrschen.

Vor allem geht es um die **Vollständigkeit der Kostenbeurteilung**. Haben Massnahmen an der Anlage eines Betreibers Einfluss auf die Kosten der Betreiber von anderen Anlagen?

Damit stellt sich auch die Frage nach **Koordinationsbedarf** und Koordinationsmöglichkeiten, einerseits um sicherzustellen, dass keine unerwarteten Mehrkosten entstehen, andererseits um Chancen auszuloten, durch gemeinsame Planung und gemeinsames Vorgehen Kosten zu minimieren.

#### 4.1.2 Stakeholder

Das Life Cycle Costing darf sich nicht auf die beim Betreiber anfallenden Kosten beschränken sondern muss sämtliche Träger von Lebenszykluskosten erfassen (vgl. auch Kapitel 3.3 und Kapitel 5.1 zur Systemabgrenzung).

Die **Betreiber** der betrachteten Strasse als primäre Kostenträger sowie die **Benutzer**, die durch Bau- und Unterhaltmassnahmen beeinträchtigt werden, sind mittlerweile in so gut wie allen LZK-Modellen abgebildet. Darüber hinaus können aber auch Benutzer von anderen – kreuzenden oder parallelen – Infrastrukturen betroffen sein. Betroffen sind überdies **Anwohner** und erschlossene **Gewerbebetriebe**, einerseits durch Baustellenverkehr und Baulärm, andererseits durch die eingeschränkte Zugänglichkeit. Vor allem das Gewerbe bringt seine Anliegen in der Planung von Bau- und Unterhaltmassnahmen innerorts oftmals deutlich zur Geltung.

In der Modellierung der Lebenszykluskosten ist mit Blick auf diese Dritten darauf zu achten, dass nicht doppelt gezählt wird. Anwohner und Gewerbe sind ja typischerweise auch Benutzer der betreffenden Strasse, und ein Teil der ihnen erwachsenden Nachteile ist folglich in den Nutzerkosten abgebildet.

## 4.2 Vorgaben

Vorgaben sind in erster Linie bei der Erarbeitung der im Rahmen der LZK-Betrachtung zu vergleichenden Varianten zu berücksichtigen, können aber auch für die Bewertung der LZK von Bedeutung sein (z.B. Vorgabe, dass Verkehrsbeeinträchtigungen während weniger als 5 Tagen problemlos sind und Variantenunterschiede innerhalb dieses Bereichs deshalb nicht bewertet werden). Für die Zulässigkeit der LZK-Betrachtung ist darauf zu achten, dass die Vorgaben für die verschiedenen Varianten identisch sind.

Grundsätzlich gilt jedoch: je strenger resp. einschränkender die Vorgaben, desto mehr Lösungsvarianten sind ausgeschlossen.

### 4.2.1 Gesetze, Richtlinien, Normen

Die geltenden gesetzlichen Vorgaben sind zu berücksichtigen. Richtlinien und Normen sind soweit zu berücksichtigen, als sie vom Gesetz, den zuständigen Bewilligungsorganen oder vom Entscheidungsträger (Strasseneigentümer, etc.) als verbindlich erklärt wurden. Wo dies nicht der Fall ist, sollte sichergestellt werden, dass Spielräume nicht zu relevant unterschiedlichen Nutzen von zu vergleichenden Varianten führen (siehe auch Kapitel 4.2.2).

Sich abzeichnende Trends in Normierung und Gesetzgebung sind zu berücksichtigen.

### 4.2.2 Nutzungsziele

Die Nutzungsziele (z.B. Verkehrsmengen, Kapazitäten, Auslegung auf Fahrzeugklassen, Lichtraumprofil usw.) müssen klar definiert sein. Insbesondere beim Vergleich von Varianten müssen die Grundfunktionalitäten identisch sein. Andernfalls unterscheidet sich auch die Höhe des Nutzens der Varianten, weshalb in diesem Fall eine weitergehende Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt werden sollte (vgl. auch Kapitel 3.2).

### 4.2.3 Qualitätsvorgaben, „RAMS“

Es ist zu unterscheiden zwischen Qualitätsvorgaben und Qualitätsspielräumen. Erstere werden vom Entscheidungsträger in Form von Standards vorgegeben und engen damit den Spielraum für die Variantenbearbeitung und -optimierung ein. Im Unterschied dazu können letzere explizit für die LZK-Minimierung genutzt werden.

Qualitätsvorgaben sind in den verschiedensten Bereichen möglich: Bauqualität, minimale Lebensdauer, Ausbaustandard / Funktionalitäten, Sicherheitsstandards, Verfügbarkeitsstandards, Zuverlässigkeitsstandards, Unterhaltsstandards. Die Vorgaben bezüglich Qualität können sich einerseits aus Gesetzgebung und Normierung herleiten. Weitere Qualitätsvorgaben können politisch bestimmt sein oder vom Entscheidungsträger projektspezifisch oder portfolioweit vorgegeben werden. Insbesondere bei langen Betrachtungszeiträumen ist mit Änderungen von Qualitätsvorgaben, z.B. bezüglich Sicherheitsstandards, zu rechnen.

#### RAMS

Ein grosser Teil der Qualitätsfaktoren kann durch die RAMS-Kenngrössen beschrieben werden. Der Begriff „RAMS“ steht für die Abkürzung der Qualitätsparameter Reliability (Zuverlässigkeit), Availability (Verfügbarkeit), Maintainability (Instandhaltbarkeit) und Safety (Sicherheit). Er wird im Zusammenhang mit Risikoanalysen und der Optimierung und Abwägung der erwähnten Qualitätsparameter vor allem in verschiedenen Industriebereichen und im Bahnbereich verwendet. Auf die Grundlagen in diesem Zusammenhang wird in den Kapiteln 2.5.5 Gesamtanlageneffektivität – OEE, 2.5.6 Anforderungsprofile und 2.6.4 Qualitätsparameter eingegangen.

Bezogen auf Strassenverkehrsanlagen kann das Zusammenspiel der RAMS-Kriterien wie folgt illustriert werden: Der (Haupt-)Nutzen einer Strasse ergibt sich grundsätzlich aus der Bereitstellung einer Verkehrsverbindung für den Strassennutzer und der effektiven Nutzung durch diesen. Die Verfügbarkeit (Availability) ist somit zentrale Grundvoraussetzung für die Nutzung. Auf der Betrachtungsebene von Teilsystemen, Objekten oder Teilobjekten



ten müssen Nicht-Verfügbarkeiten nicht zwingend zu einer Nicht-Verfügbarkeit der Strassenverbindung für den Strassennutzer führen. Allenfalls wird aber die Qualität der Strassenverbindung beeinträchtigt, weil z.B. die Strassenbeleuchtung oder eine Lichtsignalanlage ausfällt. Dies kann Einfluss auf die Sicherheit (Safety) haben, was über dadurch verursachte Unfälle wiederum Auswirkungen auf die Verfügbarkeit haben kann.

Der Parameter der Zuverlässigkeit (Reliability) wird häufig über die Ausfallhäufigkeit gemessen. Diese ist vor allem auf Ebene der Objekte und Teilobjekte von Relevanz und kann Auswirkungen auf Sicherheit und allenfalls (Gesamt-)Verfügbarkeit haben.

Als letzter RAMS-Parameter bezeichnet die Maintainability (Instandhaltbarkeit) die Fähigkeit oder Möglichkeit resp. den notwendigen Aufwand für die Instandhaltung – anwendbar auf allen Betrachtungsebenen. Die Instandhaltbarkeit hat Auswirkungen auf den Zeitbedarf für Instandhaltung resp. Erneuerung und damit auf die Verfügbarkeit.

Wenn als zusätzliche Dimension die Entwicklung der RAMS-Parameter auf der Zeitachse betrachtet wird, ist grundsätzlich davon auszugehen, dass mit zunehmender Nutzungsdauer ohne Erneuerungsinvestitionen alle vier Parameter nachlassen resp. der Aufwand für die Instandhaltung immer stärker zunimmt.

Die Ausführungen illustrieren die Zusammenhänge und Abhängigkeiten der verschiedenen RAMS-Qualitätskriterien. Je nachdem, wie genaue Vorgaben der Entscheidungsträger bezüglich einzelner oder einer Kombination von RAMS-Kriterien macht, verbleibt mehr oder weniger Spielraum, welcher im Rahmen der Variantenbearbeitung zur Minimierung der LZK genutzt werden kann (Abwägung von Kosten und Qualität im Sinne von Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit). Voraussetzung ist aber, dass der funktionale Nutzen der Anlage per definitionem für alle betrachteten Varianten konstant ist (vgl. Kapitel 4.2.2).

#### 4.2.4 Kosten- und Budgetvorgaben

Beim Life Cycle Costing wird grundsätzlich eine Minimierung der (Lebenszyklus-)Kosten angestrebt. Aufgrund von Budgetvorgaben resp. -restriktionen (Investitionen, Betrieb und Unterhalt, Budgetbeschränkungen auf der Zeitachse) kann es jedoch sein, dass Varianten mit minimalen LZK ausgeschlossen werden müssen.

Nach Möglichkeit ist das Life Cycle Costing für einen vollständigen Variantenfächer nach allen Regeln der Kunst und ohne Rücksicht auf Budgetbeschränkungen durchzuführen. Erst dann ist zu prüfen, ob das Budget für die Anschaffung der LZK-minimalen Variante ausreicht. Wenn nicht, ist zu überlegen, wie man nun weiter planen will.

#### 4.2.5 Zeitliche Vorgaben

Vorgaben zeitlicher Art können sein:

- Zeitliche Restriktionen zu Start und / oder Ende von Erhaltungsmaßnahmen
- Einschränkungen bezüglich Häufigkeit von Erhaltungsmaßnahmen auf derselben Strecke (Bsp. UPlaNS)
- Einschränkungen bezüglich (zeitl.) Intensität der Beeinträchtigungen für den Verkehr
- Terminierung von Bauarbeiten an anderen Stellen im Verkehrsnetz
- Dauer von Bewilligungsverfahren
- Lebensdauer von übergeordneten Systemen (Beispiel: Kreuzung soll in zehn Jahren durch einen Kreisverkehr ersetzt werden – folglich braucht man heute keine Lichtsignalanlage mehr mit einer sehr langen Lebensdauer)

#### 4.2.6 Weitere politische Vorgaben

Weitere politische Vorgaben (nicht abschliessend) können umfassen:

- Vorgaben bezüglich anzuwendender Technik (z.B. „nur das Neueste“)
- Vorgaben bezüglich Zulieferer, Betreiber, Unterhalt, ...
- Vorgaben zum Umgang mit Unsicherheiten und Risiken
- Vorgaben zur Diskontierung

Nach Möglichkeit sollte das Life Cycle Costing allerdings so objektiv wie möglich und damit von politischen Vorgaben weitgehend unabhängig sein. Im eigentlichen politischen Entscheid ist dann zu erwägen, welchen Stellenwert man den Lebenszykluskosten geben will.

### 4.3 Trends

Je länger der Betrachtungszeitraum ist, desto höheres Gewicht kommt der Berücksichtigung von Trends und den damit verknüpften Prognoseunsicherheiten zu.

#### 4.3.1 Verkehrsentwicklung, Nutzungsintensität

Bei der Planung von Erhaltungsmassnahmen sind die Entwicklung der Verkehrsmengen sowie der Nutzungsintensität zu berücksichtigen. Wird z.B. davon ausgegangen, dass die Verkehrsmenge auf einem Strassenabschnitt in den nächsten 20 Jahren stark zunimmt, hat dies einerseits einen Einfluss auf die Zustandsentwicklung (Abnutzung). Andererseits kann dies zum Schluss führen, dass in 20 Jahren sowieso ein Ausbau notwendig wird, so dass die Erhaltungsmassnahmen anstatt auf eine Lebensdauer von 40 nur auf eine solche von 20 bis 25 Jahren ausgelegt werden.

Ähnliches gilt, wenn z.B. davon ausgegangen wird, dass in 15 Jahren Lastwagen mit höheren Achslasten oder grösserem Lichtraumprofil zu erwarten sind. Dann stellt sich die Frage, ob die Strasse bereits mit den jetzt notwendigen Erhaltungsmassnahmen auf die neu zu erwartenden Anforderungen ausgelegt oder ob damit zugewartet wird.

Im Idealfall werden solche Entwicklungen mit Verkehrs- und Belastungsmodellen sowie verschiedenen Szenarien modelliert, deren Ergebnisse dann als Grundlage für das LCC dienen. In der Praxis wird man jedoch häufig auf weniger fundierten Experteneinschätzungen oder groben Abschätzungen von Hand aufbauen müssen.

#### 4.3.2 Zustandsentwicklung

Für viele Objekttypen existieren Zustandsindizes, welche in standardisierter Form Aussagen zum Zustand eines Objekts oder Teilobjekts zulassen. Oft werden auf Basis solcher Zustandsindizes Eingriffsgrenzen festgelegt, bei deren Erreichen spätestens Massnahmen ergriffen werden müssen. Zusätzlich werden zum Teil Toleranzbereiche und Warn-grenzen definiert.

Im Idealfall kennt man sowohl den aktuellen Zustand als auch die genaue Zustandsprognose einer Strassenanlage und ihrer Einzelelemente und kann basierend auf diesen eine ideale Erhaltungsstrategie planen. In der Realität ist die Zustandsentwicklung einer Anlage resp. von Objekten/Teilobjekten jedoch mit Unsicherheiten behaftet. Diese werden umso grösser, je länger der Betrachtungszeitraum ist. Das Ausmass der Unsicherheiten kann abhängig von aktuellen Zustandsinformationen, Bauelement, Baumaterial, Technologie, Belastung, etc. sehr unterschiedlich sein.

Die Minimierung der LZK hängt unter anderem davon ab, wie optimal die Erneuerungs- und Unterhaltszeitpunkte und -intensitäten der verschiedenen Objekte und Teilobjekte aufeinander abgestimmt werden können. Deshalb sind möglichst zuverlässige Kenntnisse / Prognosen über die Zustandsentwicklung der zur Diskussion stehenden Objekte essentiell. Je besser die Prognose, desto zuverlässiger und mit geringerer Streuung können die LZK berechnet werden; und desto einfacher ist die Optimierung der LZK im Sinne von Optimierung der Varianten zur Minimierung der LZK. Diese Aussage gilt grundsätzlich für

alle Kategorien von Unsicherheiten und Trends, ist wegen der Möglichkeit, die Zustandsentwicklung aktiv zu beeinflussen aber speziell relevant.

### 4.3.3 Technischer Fortschritt

Eine Prognose des technischen Fortschritts ist schwierig, da häufig unregelmässig und sprunghaft vor sich gehend. Dennoch ist v.a. bei Investitionen mit längerem Zeithorizont abzuwägen, wie hoch die Wahrscheinlichkeit sein könnte, dass sich eine Variante mit langer Lebensdauer lohnen könnte oder ob zu erwarten ist, dass die Variante mit langer Lebensdauer a) entweder frühzeitig ersetzt werden muss, da den technischen Standards nicht mehr genügend oder b) aufgrund der Produktivitätssteigerungen besser eine günstigere Variante mit kürzerer Lebensdauer gewählt wird, da die Produktivitätssteigerung die Kosten einer früheren Neuinvestition wett macht.

### 4.3.4 Preisentwicklung

Im Life Cycle Costing wird die allgemeine Preisentwicklung typischerweise nicht berücksichtigt; Kosten und Zinssätze/Diskontraten werden als sogenannte reale Grössen behandelt, ohne die konjunkturelle Inflationsrate einzubeziehen.

Relative Preisveränderungen können beim Life Cycle Costing dagegen durchaus eine Rolle spielen; im Idealfall werden sie anhand von Szenarien berücksichtigt. Wichtige Komponenten dabei sind Rohstoffpreise und Löhne, aber auch aufgrund des technischen Fortschritts sich verändernde Einheitskosten resp. Produktivitätssteigerungen.

Der methodische Umgang mit Unsicherheiten bei Prognosen und Trends wird in Kapitel 5.4 behandelt. Verschiedene Beispiele aus der Literatur wurden in Kapitel 3.4 erwähnt.



## 5 Methodik

Basierend auf den Erkenntnissen der vorangehenden Kapitel werden in Kapitel 5 die methodischen Grundlagen für die Anwendung des LCC im Strassenwesen erarbeitet:

- Kapitel 5.1 behandelt die wesentlichen Aspekte, welche für eine korrekte Systemabgrenzung mit einzubeziehen sind.
- In Kapitel 5.2 werden verschiedene Bewertungsansätze zur Berechnung von LZK sowie deren Anwendungsbereiche mit Voraussetzungen, Vor- und Nachteilen präsentiert.
- Kapitel 5.3 befasst sich mit der Festlegung des meist geeigneten Betrachtungszeitraums unter Berücksichtigung der konkreten Umstände.
- Kapitel 5.4 gibt einen Überblick über den Umgang mit Unsicherheiten und Risiken
- Schliesslich werden in Kapitel 5.5 verschiedene in der Literatur vorhandene Prozessabläufe für die Bestimmung von Lebenszykluskosten präsentiert.

### 5.1 Systemabgrenzung

Systemgrenzen sollten spezifisch für die jeweilige Fragestellung definiert werden. Der Entscheidungsträger muss sich bewusst machen, welche Ereignisse (Prozesse, Handlungen) miteinander in Beziehung stehen und welche Auswirkungen sie auf die Zahlungsströme haben können, welche für die Bewertung mittels Lebenszykluskostenanalyse relevant sind. Die Definition der Systemgrenze kann grundsätzlich unter folgenden Aspekten erfolgen (vgl. auch [33]):

#### 5.1.1 Funktionale Aspekte

Strassenverkehrsanlagen können, wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, in Gesamtsysteme, Teilsysteme, Objekte, Teilobjekte und Gruppen von Objekten unterteilt werden. Diese Unterteilung begründet sich im Wesentlichen durch die Funktion des Untersuchungsgegenstandes. Ein Fahrbahnübergang besitzt beispielsweise die Funktion, Fugenspaltanordnungen welche sich an Brückenenden befinden, zu überbrücken, damit Bewegungsausgleiche möglich sind. Falls diese Funktion nicht mehr gewährleistet ist, hat dies Einfluss auf die Funktion des übergeordneten Systems „Brücke“ (sie ist beispielsweise nicht mehr befahrbar, weil der fehlende Bewegungsausgleich Risse zur Folge hatte). Ist die Brücke nicht mehr befahrbar, verliert auch das untergeordnete Teilobjekt Strassenbelag seine Funktion, was bedeutet, dass allfällige Investitionen in dieses Objekt ihren Wert verlieren.

Der Entscheidungsträger stellt sich in diesem Fall also die Frage, ob er mit seiner Entscheidung wesentlichen Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit von anderen Elementen hat. Wesentlich bedeutet, dass die Funktionsbeeinträchtigung Kosten verursachen könnte, welche für die LCC Betrachtung relevant sind oder die Rahmenbedingungen verletzen könnte.

#### 5.1.2 Räumliche Aspekte

Auch wenn ein Element der Strassenverkehrsanlage möglicherweise funktional keinen Einfluss auf ein anderes hat, kann allein die Tatsache, dass die Elemente nahe beieinander liegen ein Grund sein, sie gemeinsam in einer LCC-Betrachtung miteinzubeziehen. Zum Beispiel, weil sie sich möglicherweise gegenseitig beeinflussen.

Besteht beispielsweise in einer Gemeinde bezüglich Strassenbelag Sanierungsbedarf und befinden sich unter der Strasse Werkleitungen, empfiehlt es sich zu prüfen, ob sich ein gleichzeitiger Ersatz lohnt. In Bezug auf den vorangehenden Absatz kann man feststellen: Der Ersatz des Belages beeinflusst die Funktion der Werkleitungen nicht, umgekehrt könnte aber in ein paar Jahren der Ersatz einer Werkleitung die Funktion des Belages beeinträchtigen.

### 5.1.3 Prozessbezogene Aspekte (Ressourceneinsatz)

Die Entscheidungen, welche im Erhaltungsmanagement getroffen werden, lösen operative Prozesse aus, die mit Ressourceneinsatz verbunden sind. Dabei kann man zwischen unmittelbar mit der Ausführung der Erhaltungsmassnahme verbundenen Prozessen und langfristig beeinflussten (oder zu etablierenden) Prozessen unterscheiden.

Entscheidungsträger sollten sich Gedanken darüber machen, welche Prozesse und welcher Ressourceneinsatz mit einer geplanten Massnahme an einem Element der Strasseninfrastruktur verbunden sind und versuchen, Synergiepotentiale zu identifizieren. Wenn auf Grund einer Massnahme beispielsweise zwingend eine Strassensperrung durchgeführt werden muss, sollten die Verantwortlichen sich Gedanken darüber machen, für welche Elemente oft ähnliche Prozesse ausgelöst werden müssen. So lassen sich bei einer Zusammenlegung von Massnahmen an unterschiedlichen Elementen unter Umständen Kosten sparen. Ein anderes Beispiel ist der Austausch von Beleuchtungskörpern. Obwohl beispielsweise die Hälfte der Elemente noch mehrere Jahre voll funktionsfähig wäre, kann sich ein vollständiger Ersatz in einem einzigen Prozess z.B. lohnen, wenn bei einem zweimaligen Einsatz der Ressourcen (Mitarbeiter und Maschinen) die Kosten eines einmaligen Einsatzes bei weitem übertroffen werden.

Entscheidungsträger sollten zudem in Erfahrung bringen, wie ihre Entscheidungen die Prozesse im Erhaltungsmanagement und im betrieblichen Unterhalt **langfristig** beeinflussen. Sie sollten sich fragen, welche Optimierungs- und Rationalisierungsmöglichkeiten es gibt und inwiefern die Gefahr besteht, dass bestehende Synergieeffekte durch ihre Entscheidung aufgebrochen werden könnten. (Was bedeutet es beispielsweise für den betrieblichen Unterhalt, wenn man ein defektes technisches System in einem Abschnitt durch ein gleichwertiges, jedoch andersartiges ersetzen muss, in einem anderen Abschnitt das alte System aber noch weiter betreiben möchte, weil es noch einwandfrei funktioniert?)

### 5.1.4 Verantwortlichkeit

Portfoliobezogen erfolgen Entscheide im Erhaltungsmanagement innerhalb einer Organisationsstruktur, in der Verantwortungsbereiche und Entscheidungsbefugnisse auf verschiedene Hierarchieebenen und Einheiten verteilt sind. Für die Minimierung der Lebenszykluskosten des Gesamtportfolios ist es entscheidend, dass bei beliebigen Entscheidungssituationen die Systemgrenze so gezogen wird, dass ausserhalb der Systemgrenze keine relevanten Kostenfaktoren ausser Acht gelassen werden. Dazu hilft eine Strukturierung, wie sie in Kapitel 3.1.1 beschrieben ist.

Verkompliziert werden kann die Situation, wenn Strasseneigentümer und Strassenbetreiber nicht identisch und deren Portfolios nicht deckungsgleich sind. So wird zum Beispiel das Nationalstrassennetz – dessen Eigentümer der Bund ist – von verschiedenen Gebietseinheiten unterhalten, welche sich zum Teil gleichzeitig auch um Kantonsstrassen kümmern. Die Spielräume zur Festlegung der Systemgrenze sind damit je nachdem unterschiedlich, resp. eine möglicherweise sinnvolle Erweiterung der Systemgrenze über das eigene Portfolio hinaus kann schwierig sein (Bereitschaft zur Zusammenarbeit muss vorhanden sein, Koordinationsaufwand, Kompetenz-/Schnittstellenregelungen, etc.). Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Interessen von Strasseneigentümer und -betreiber nicht immer deckungsgleich sind.

Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt ist, dass Massnahmen am eigenen Portfolio Auswirkungen auf Objekte eines anderen Portfolios haben und somit nicht unabhängig umgesetzt werden können sondern koordiniert werden müssen. Beispiele hierfür sind Werkleitungen Dritter im Strassentrassee, ein als Dienstbarkeit im Grundbuch eingetragenes Wegrecht eines Dritten oder die Überführung einer Gemeindestrasse über eine Nationalstrasse. Der Einbezug des Portfolios eines benachbarten Eigentümers oder Betreibers kann aber auch von Interesse sein, um Synergien besser nutzen zu können.

Zu berücksichtigen ist, dass jeder Entscheidungsträger andere Ziele verfolgt und seine Systemgrenzen dementsprechend auswählt. Ein beauftragter Unternehmer wird beispielsweise die Kosten der Nutzer nicht in seine Planung mit einbeziehen, ausser es wird

vom Auftraggeber entsprechend verlangt (d.h. die Rahmenbedingungen werden entsprechend gestaltet, beispielsweise mit Hilfe von Konventionalstrafen). Ein Gemeinderat wird bei seiner Entscheidung seine Systemgrenzen so setzen, dass er in erster Linie die Konsequenzen für seine Gemeinde berücksichtigt und die Konsequenzen für die Nachbargemeinde nur in einem geringeren Mass, falls überhaupt (Bsp. permanente Sperrung einer Verbindungsstrasse für den motorisierten Verkehr um Unterhaltskosten zu sparen).

Jeder Entscheidungsträger sollte sich zunächst seiner Ziele und der Rahmenbedingungen, innerhalb der er sich bewegen kann, bewusst sein. Danach wählt er seine Systemgrenzen. Ziele können sowohl strategischer, wie auch operativer Art sein, entsprechend verändern sich der Detaillierungsgrad und der Umfang der Betrachtung.

### 5.1.5 Strategische und operative Sichtweise

Grundsätzlich lässt sich zwischen strategischen und operativen Entscheiden unterscheiden:

	Strategisch	Operativ
Rahmenbedingungen	wenige, weit	viele, eng
Tragweite der Entscheidung	vergleichsweise hoch	vergleichsweise gering
Detaillierungsgrad der Grunddaten	gering (nur grössere Kostenblöcke interessieren)	gross
Beeinflussbarkeit der Kosten/Handlungsspielraum	relativ hoch	relativ gering
Verantwortungsbereich	gross	klein
Sichtweise	eher „oben nach unten“	eher „unten nach oben“
Hierarchiestufe	hoch	tief

**Abb. 5-1:** Strategische und operative Sichtweise zur Systemabgrenzung

Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Entscheidungssituation / Fragestellung und der Wahl der Systemgrenze. Bei einer strategischen Entscheidung sind die Systemgrenzen eher weit gefasst, bei einer operativen Entscheidung eher eng.

## 5.2 Bewertungsansätze

### 5.2.1 LZK als Barwert eines langfristigen Kostenstroms

Im überwiegenden Teil der Literatur und insbesondere in den Standardwerken zur Methodik, z.B. [63] [68] [91], werden die Lebenszykluskosten einer Anlage A als Bar- oder Gegenwartswert eines langfristigen Kostenstroms angegeben:

$$(1) \quad LZK_A = \sum_{t=0}^T \frac{K_{A,t}}{(1+r)^t}$$

t bezeichnet das Jahr, in dem die Kosten anfallen. t=0 entspricht der Gegenwart, t=T dem Ende des Betrachtungszeitraums. Bei  $K_{A,0}$  wird es sich überwiegend um Investitionen und Ausführungskosten handeln.  $K_{A,T}$  umfasst allenfalls auch Restwerte und kann daher negativ sein<sup>5</sup>. Wenn in der obigen Formel sowohl positive als auch negative Kosten pro Jahr vorkommen, spricht man von einem Nettobarwert (NBW).

r entspricht dem Diskontsatz. Das ist ein jährlicher Zinssatz, mit dem Kosten, die zu späteren Zeitpunkten anfallen, abgewertet werden. Die Lebenszykluskosten von Anlagen, bei denen die Kosten spät anfallen, sind also tendenziell tiefer als Lebenszykluskosten

<sup>5</sup> Wenn eine vorhandene Anlage ersetzt wird, sind Kosten für die Ausserbetriebnahme oder den Abbruch der ursprünglichen Anlage sehr häufig in der Investition zu Beginn des Betrachtungszeitraums enthalten. Inwieweit man sie dann am Ende des Betrachtungszeitraums noch einmal berücksichtigt, ist im Einzelfall zu prüfen.

von Anlagen, bei denen die Kosten früher entstehen (vgl. auch Kapitel 5.2.2).

Wenn es nur darum gehen soll, Varianten oder Handlungsalternativen zu vergleichen, kann sich die LZK-Berechnung gemäss Formel 1 auf diejenigen Kosten beschränken, die von Variante zu Variante unterschiedlich hoch sind oder die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen. Auf jeden Fall muss im Variantenvergleich derselbe Betrachtungszeitraum, derselbe Diskontsatz und dieselbe Preisbasis verwendet werden.

Das Prinzip solcher LZK-Berechnungen wird deutlich in einer Untersuchung von Lee, Kim und Harvey [92]. Sie vergleichen Typen von Fahrbahnbelägen, bei denen der langlebigere Typ doppelt so hohe Anfangsinvestitionen bedingt wie der kurzlebigere. Die folgende Abbildung zeigt die Summe aus den entsprechenden Betreiberkosten und den Betriebserschwerungskosten für die Strassenutzer während der Ausführung von Massnahmen über einen Zeitraum von 60 Jahren.

	Fahrbahnbelag Typ A	Fahrbahnbelag Typ B
t = Jahr	K (A,t)	K (B,t)
0	25.8	65.0
10	8.6	
15	3.0	
20	7.2	
30	4.3	0.9
35	1.5	2.2
40	3.6	
45		2.5
50	2.1	4.1
55	0.8	
Barwert bei 2%	45.6	69.2

**Abb. 5-2:** Kostenverlauf für unterschiedliche Fahrbahnvarianten am Beispiel der California Interstate 710, nach [92]. Angaben in Millionen US\$

In diesem Beispiel reichen die Einsparungen an zukünftigen Kosten bei der Long-life-Lösung nicht aus, um die hohen Anfangsinvestitionen zu amortisieren, zumal die Anfangsinvestitionen in der Barwertbetrachtung nicht oder im Verhältnis zu späteren Kosten nur gering diskontiert werden.



## 5.2.2 Diskontierung

Der Diskontsatz ermöglicht es, Kosten, welche zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, miteinander zu vergleichen. Sein Wert kann einen starken Einfluss auf die Bewertung unterschiedlicher Alternativen haben. Je höher er ist, desto geringeres Gewicht erhalten Kosten, welche in ferner Zukunft liegen.

Die Höhe des Diskontsatzes welcher bei der Bewertung von Investitionsprojekten zur Anwendung kommt, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab (Weiterführende Informationen dazu finden sich bei Hall, K. T. et al. [93] und Jawad, D. / Ozbay, K. [94]) Untenstehende Tabelle zeigt einen Überblick über in der Schweiz in der Vergangenheit in Verkehrs-Bewertungsmodellen oder Grossprojekten verwendeten Diskontsätze:

	NUP	NHT	SBB Flug- hafenline	NEAT	Seetunnel	ZMB N1/N20	ZMB K10	NIS- TRA
Bearbeitungs- jahr	1981	1983	1984	1988	2002	2002	2002	2003
Diskont- satz (inkl. Sensitivi- tätsanaly- sen)	4%, 6%	1.5% 3%, 6%	4%, 5%, 6%	5%	2%, 3% 4.5%	2%, 3%, 4%	3%	2.5%

**Abb. 5-3:** Verwendete Diskontsätze in Schweizer Bewertungsmodellen oder bei Grossprojekten [68]

Zur Anwendung bei Projekten im schweizerischen Strassenverkehr wurde 2005, im Rahmen eines Forschungsauftrages, erstmals eine ökonometrische Schätzung über den „korrekten“ Diskontsatz durchgeführt [95]. Die Resultate wurden in der Norm SN 641 821 festgehalten. Der geschätzte Wert beträgt 2%. Für Sensitivitätsanalysen wird ein Wert von 3% vorgeschrieben.

Folgendes Beispiel macht deutlich, warum man diskontiert. Bei Anlage 1 fallen Kosten von 100 in der Gegenwart an, bei Anlage 2 ein Jahr später. Der Bauherr, der sich für Anlage 2 entscheidet, hat ein Jahr länger Zeit, um sein Geld am Kapitalmarkt zu, sagen wir, 2% Zinsen anzulegen. In der Gegenwart braucht er nur den Betrag anzulegen, der ihm unter Berücksichtigung des Zinsertrags die Ausgabe von 100 im nächsten Jahr ermöglicht. Der Gegenwartswert der Ausgabe für Anlage 2 liegt also bei 98,04.

	Anlage 1	Anlage 2
Jahr 0	<b>Ausgabe = 100</b>	<i>Geldanlage = <math>100/1.02 = 98,04</math></i> <i>Zinsertrag am Jahresende = 1,96</i>
Jahr 1		<b>Ausgabe = 100</b>

**Abb. 5-4:** Begründung der Bildung von Bar- bzw. Gegenwartswerten durch Diskontierung

## 5.2.3 Lebenszykluskosten als Summe eines undiskontierten Kostenstroms

Statt zu diskontieren, kann man die Lebenszykluskosten auch als Summe eines undiskontierten Kostenstroms abbilden, bzw. als Barwert bei einem Diskontsatz von 0. Solche Betrachtungen sind möglich, wenn der genaue Zeitpunkt, zu dem eine bestimmte Ausgabe stattfindet, letztlich egal ist. Vorteil dieses Ansatzes: Er ist leicht zu erklären und vermeidet eine Diskussion über die Höhe eines Diskontsatzes und die damit implizierte Gegenwartspräferenz. Da Lebensdauer und Zeitpunkt teurer Ersatzinvestitionen gerade bei den kapitalintensiven Strassenanlagen aber doch von erheblicher Bedeutung sind, ist diese einfache Sichtweise nur bedingt zulässig.

### 5.2.4 Equivalent Uniform Annual Cost (Rentenbarwert)

Die amerikanische Federal Highway Administration schlägt als mögliche Alternative zur Barwertmethode eine Spielart vor, bei der der Barwert in einen Jahreskostenbetrag umgeformt wird (Rentenbarwert) [68] [63]. Das geschieht durch Anwendung der Annuitätenformel:

$$(2) \quad EUAC_A = LZK_A(T_A) \cdot \frac{r \cdot (1+r)^{T_A}}{(1+r)^{T_A} - 1}$$

Der Rentenbarwert ist eine Masszahl, mit der Varianten mit unterschiedlicher Lebensdauer verglichen werden können, ohne dass man einen einheitlichen Betrachtungszeitraum festlegen und dann allenfalls Restwerte berücksichtigen muss. Es genügt, für jede Variante den Barwert des Kostenstroms über ihren Lebenszyklus von der Anfangsinvestition bis zur nächsten Erneuerung zu ermitteln. Die so ermittelten  $LZK_A(T_A)$  und  $LZK_B(T_B)$  für zwei Varianten A und B mit unterschiedlicher Lebensdauer sind zwar nicht vergleichbar. Durch Anwendung der Annuitätenformel mit der variantenspezifischen Lebensdauer  $T_A$  und  $T_B$  erhält man mit EUAC eine Masszahl für den Lebenszykluskostenvergleich. Allerdings gilt dies nur unter der Annahme einer unendlichen Folge von gleichbleibenden Lebenszyklen.

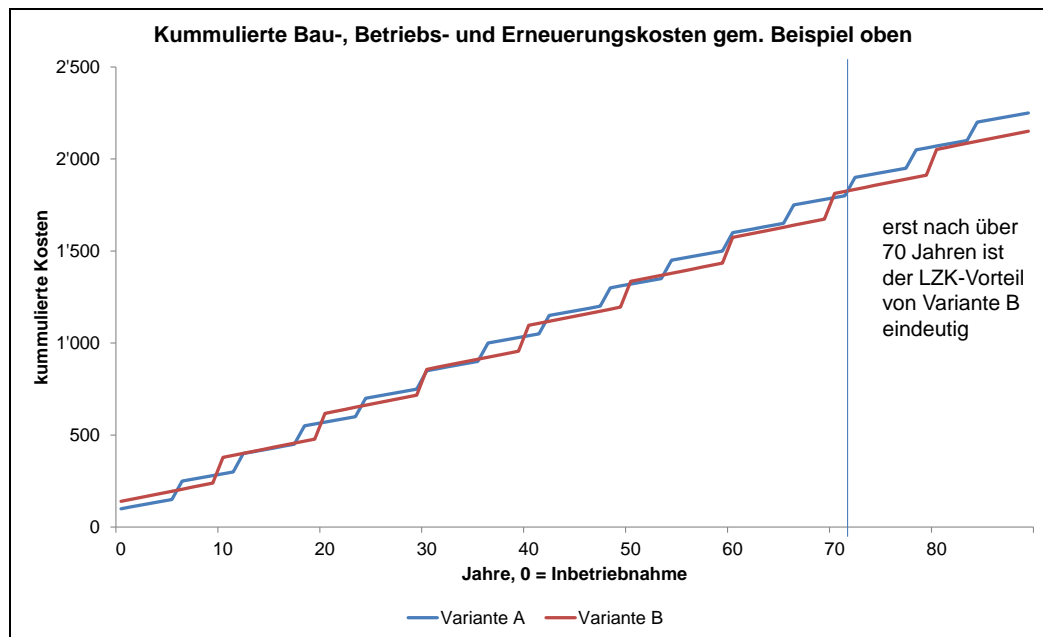
Unten das Beispiel für zwei Varianten A und B. Variante B hat im Jahr 0 ihrer Inbetriebnahme 40% höhere Kosten als Variante A und ist auch im Betrieb 10% teurer. Dafür kann sie 10 Jahre lang genutzt werden, bevor sie ersetzt werden muss, während Variante A nur 6 Jahre lang genutzt werden kann. EUAC zeigt, dass bei unendlicher Wiederholung der Lebenszyklen Variante B wegen der längeren Lebensdauer die geringeren Lebenszykluskosten hat.

t	Kosten Variante A	Kosten Variante B
0	100	140
1	10	11
2	10	11
3	10	11
4	10	11
5	10	11
6	(Ersatz)	11
7		11
8		11
9		11
10		(Ersatz)
LZK, Barwert über den Lebenszyklus	149.9	238.5
<b>EUAC</b>	<b>25.1</b>	<b>24.0</b>

bei einem Diskontsatz von 5%

**Abb. 5-5:** Beispiel für die Anwendung des EUAC im LZK-Vergleich von Varianten

Das Beispiel wurde so gewählt, dass der Vorteil einer Variante in der kurzfristigen Betrachtung nicht intuitiv erkennbar ist. Rechnet man mit höchstens 6 Jahren Nutzungsdauer, ist natürlich Variante A im Vorteil. Danach hängt die Beurteilung nicht zuletzt davon ab, welchen Restwert man erzielen kann, bevor eine Anlage am Ende ihres Lebenszyklus angekommen ist. Selbst ohne Restwert und Diskontierung ist der Kostenvorteil von Variante B im gewählten Beispiel erst nach rund 70 Jahren eindeutig.



**Abb. 5-6:** Kummulierte Bau-, Betriebs- und Erhaltungskosten gemäss **Abb. 5-5**

### 5.2.5 LZK als Summe von Betriebs- und Erhaltungsausgaben grosser, langlebiger Netze

Benchmarkings von Infrastrukturkosten verschiedener Netze und/oder Betreiber werden oft auf Lebenszykluskosten bezogen (vgl. z.B. Kapitel 3.4.6; siehe auch [96]). Das Argument ist, dass ein Netz mit hohen Bau- und Erneuerungsausgaben typischerweise geringe Betriebsausgaben hat – allein schon deshalb, weil die neue Infrastruktur zunächst nicht viel Unterhalt braucht. Als Näherungswert für die Lebenszykluskosten wird dann zum Beispiel die Summe oder der Mittelwert jährlicher Betriebs-, Unterhalts- und Erneuerungsausgaben über einen bestimmten Zeitraum verwendet. Das hat folgende Vorteile:

- Einigermassen vollständiges Bild der laufenden Infrastrukturausgaben
- Fairness in der Beurteilung, keine Bevorzugung oder Benachteiligung von Netzen mit hohen Kapitalausgaben
- Vermeiden von Definitionsproblemen; es spielt keine Rolle, wie bei den verschiedenen Netzen Betrieb, Unterhalt und Erneuerung gegeneinander abgegrenzt sind
- relativ wenig Aufwand für die Datensammlung

Diese vereinfachende Sichtweise liefert allerdings nur unter folgenden Prämissen ein richtiges Bild:

- Die Netze sind genügend gross, und die Substanzerhaltung ist im Gleichgewicht; d.h. Jahr für Jahr wird ungefähr der gleiche Anteil der Anlagen erneuert
- Der Netzzustand ist über die Jahre hinweg konstant; es gibt keine Über- oder Unterinvestition

### 5.2.6 Kostenfunktionen

Für gegebene Anlagen können die Lebenszykluskosten auch über Kostenfunktionen optimiert werden, für die sich eine kostenminimale Variablenkombination errechnen lässt.

In folgendem Denkmodell werden die Jahreskosten  $K$  einer Anlage in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer  $T$  dargestellt.

Die jährlichen Kapitalkosten  $N$  der initialen Ausführung  $I$  (inkl. allf. Abbruch bestehender Anlagen) entsprechen dabei – vereinfachend – einem linearen Abschreibungsbetrag:

$$(3) \quad N(T) = \frac{I}{T}$$

für  $T = 1, \dots, n$

Wir nehmen an, dass der Aufwand für Betrieb und Unterhalt Jahr für Jahr durch Alterung, Verschleiss und Verkehrswachstum zunimmt. Im Denkmodell entsprechen die jährlichen Kosten für Betrieb und Unterhalt  $BK$  im Durchschnitt über die Nutzungsdauer einer exponentiellen Funktion, die die Kostensteigerung mit zunehmendem Alter der Anlage abbildet:

$$(4) \quad BK(T) = BK_0 + a \cdot T^b \quad \text{mit } b > 1$$

Dann sind die „Lebenszykluskosten“ (Gesamtkosten)  $GK$  im Jahr  $T$  die Summe aus Kapital-, Betriebs- und Unterhaltskosten:

$$(5) \quad GK(T) = \frac{I}{T} + BK_0 + a \cdot T^b$$

Das Minimum der Gesamtkosten (welches dem Minimum der LZK entspricht) ergibt sich, indem man die erste Ableitung dieser Funktion gleich Null setzt und nach  $T$  auflöst:

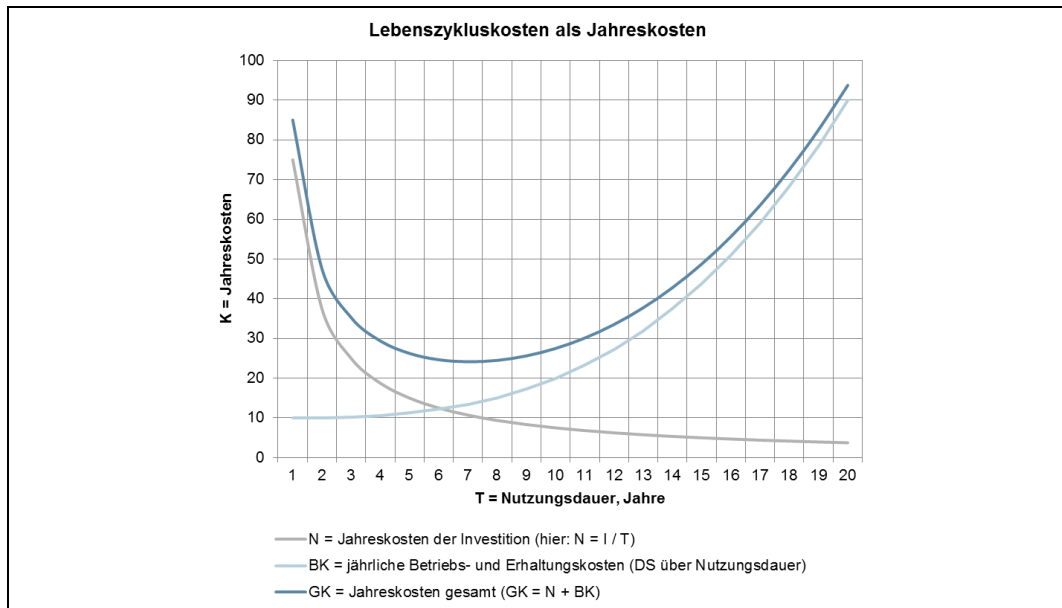
$$(6) \quad \frac{\partial GK}{\partial T} = -\frac{I}{T^2} + a \cdot b \cdot T^{b-1} = 0$$

$$\rightarrow T^* = \left( \frac{I}{a \cdot b} \right)^{\frac{1}{b+1}}$$

$$\rightarrow GK^* = BK_0 + a^{\frac{1}{b+1}} \left( \frac{I}{b} \right)^{\frac{b}{b+1}} (1+b)$$

Diese beispielhafte Formel zeigt: Je höher die Kosten der initialen Ausführung  $I$ , desto länger die optimale Nutzungsdauer – es braucht sozusagen mehr Zeit, bis die Investition amortisiert ist. Oder andersherum: Je teurer die Ersatzinvestition, umso länger kann man hohe Betriebskosten hinnehmen. Ausserdem: Je stärker die Betriebskosten mit der Zeit steigen (= je grösser  $a$  und  $b$ ), d.h. je stärker sich Alterung und Verschleiss auf die Betriebskosten auswirken, desto kürzer die optimale Nutzungsdauer – es lohnt sich, die Anlage schneller zu ersetzen. Die minimalen Lebenszykluskosten resp. die minimalen durchschnittlichen Jahreskosten  $GK^*$  ergeben sich durch Einsetzen von  $T^*$  in Formel 3.

In der folgenden Abbildung ist das Denkmodell grafisch dargestellt. Die Lebenszykluskosten haben in Funktion der Nutzungsdauer einen U-förmigen Verlauf. Minimale Lebenszykluskosten sind bei einer Nutzungsdauer von 7 Jahren gegeben.



**Abb. 5-7:** Beispiel für eine LZK-Funktion

In diesem Denkmodell kann man vier Optimierungsmöglichkeiten darstellen:

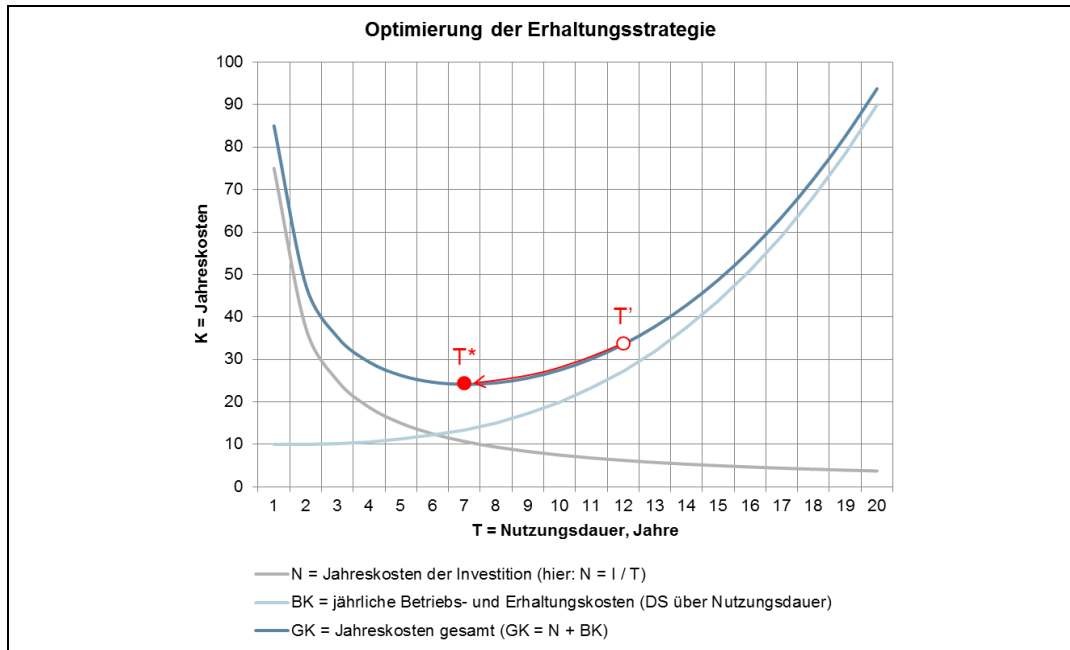
- Optimierung der Erhaltungsstrategie bei gegebenen Kapital- und Betriebskosten
- Senkung der initialen Ausführungskosten und damit der Kapitalkosten
- Senkung der Betriebskosten
- Wahl der LZK-minimalen Variante

### Optimierung der Erhaltungsstrategie bei gegebenen Kapital- und Betriebskosten

In diesem Beispiel wird die Strasse zu lange betrieben und zu spät erneuert ( $T'$ ); dadurch sind die jährlichen Betriebs- und Erhaltungskosten zu hoch.

Durch Ausrichtung der Erhaltungsstrategie auf eine frühere Erneuerung ( $T^*$ ) kann übermässiger Verschleiss vermieden werden, was den Betriebs- und Erhaltungsaufwand und damit die Gesamtkosten senkt.

Das Denkmodell zeigt übrigens auch: Wenn die Nutzerkosten bei schlechtem Strassenzustand in den Betriebskosten nicht abgebildet sind, führt das tendenziell zu zu langen Erneuerungsintervallen.



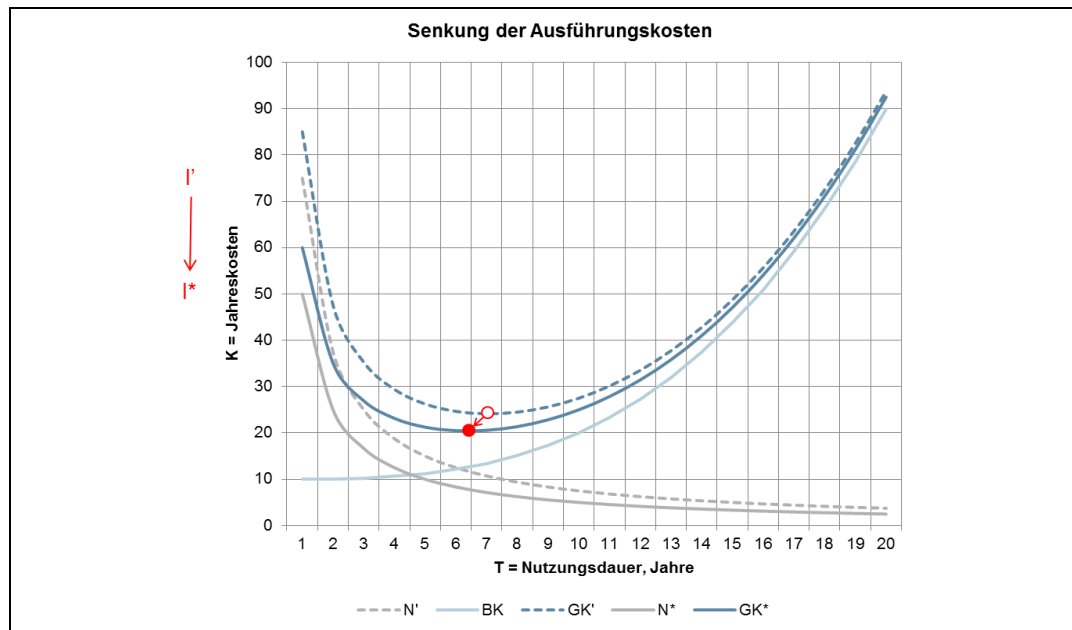
**Abb. 5-8:** Optimierung der Erhaltungsstrategie bei gegebenen Kapital- und Betriebskosten

### Senkung der Ausführungskosten

In diesem Beispiel gelingt es, die Ausführungskosten einer Investitions- oder Erneuerungsmassnahme zu senken, was bei gegebenen Betriebs- und Unterhaltskosten natürlich grundsätzlich die Lebenszykluskosten senkt.

Man beachte, dass es sich dadurch auch lohnt, die Strasse rascher zu erneuern, um so zusätzlich in den Genuss tieferer Betriebs- und Erhaltungskosten zu kommen. Dies unter der Annahme, dass die Ersatzinvestition identisch mit der Erstinvestition ist.

Das Denkmodell zeigt auch: Wenn die Nutzerkosten in den Ausführungskosten nicht abgebildet sind, führt das zu häufigen Erneuerungsinterventionen mit nachteiligen Verkehrsbehinderungen.



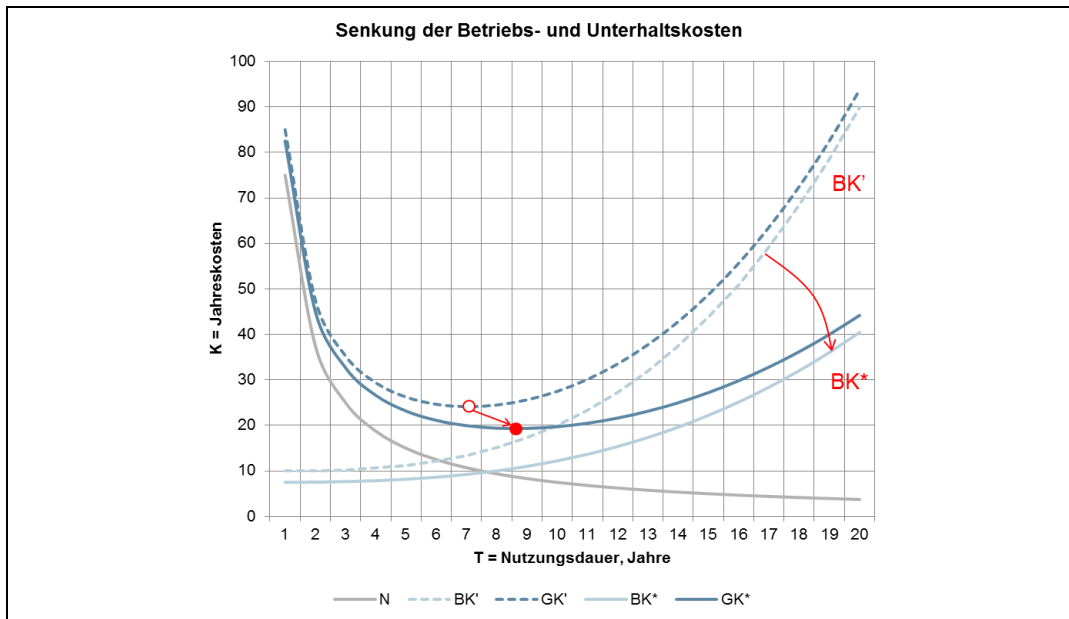
**Abb. 5-9:** LZK-Optimierung durch Senkung der Ausführungskosten

### Senkung der Betriebskosten

In diesem Beispiel wird die Strasse zu teuer betrieben ( $BK'$ ); durch Prozessoptimierung können die Betriebs- und Erhaltungskosten gesenkt werden ( $BK^*$ ).

Dadurch sinken die Gesamtkosten; die tieferen Betriebs- und Erhaltungskosten erlauben es überdies, die Strasse länger zu benutzen, bevor eine teure Erneuerungsmassnahme fällig wird.

Das führt natürlich nur dann zu einem wirtschaftlichen Optimum, wenn in den Betriebs- und Erhaltungskosten allfällige Erschwernisse für Nutzer und Dritte aufgrund eines schlechteren Strassenzustands ausreichend abgebildet sind.



**Abb. 5-10:** LZK-Optimierung durch Senken der Betriebs- und Unterhaltskosten



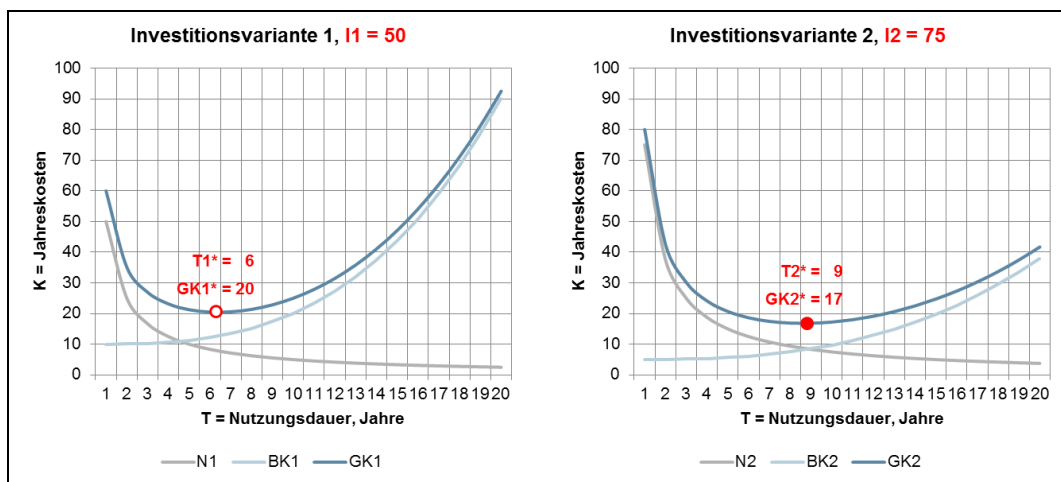
### Wahl der Variante mit den tiefsten Lebenszykluskosten

Auch die Wahl der Investitionsvariante mit den tiefsten Lebenszykluskosten lässt sich im Denkmodell abbilden.

In folgendem Beispiel hat Investitionsvariante 1 tiefere Anschaffungs- bzw. Erstellungskosten als Variante 2. Andererseits ist I1 verschleissanfälliger und weniger dauerhaft als I2 – die Betriebskosten BK1 sind höher und steigen schneller als BK2.

In dem Beispiel hat die teurere Investitionsvariante I2 insgesamt tiefere Lebenszykluskosten und eine längere optimale Nutzungsdauer als Variante I1. Es lohnt sich also, die teurere Variante zu realisieren.

Zur Erinnerung: Dieser Vergleich führt nur bei Varianten ohne allzu grosse funktionale Unterschiede bei Inbetriebnahme (z.B. hinsichtlich der verkehrlichen Leistungsfähigkeit, Verkehrssicherheit, Belastung Dritter) zu einem wirtschaftlichen Optimum.



**Abb. 5-11:** Wahl der Variante mit den tiefsten Lebenszykluskosten

Das Denkmodell folgt der objektbezogenen Definition des Lebenszyklus, wie sie z.B. in Kapitel 2.5.1 getroffen wurde: «Zeitraum von der Erstellung bzw. von der letzten Generalerneuerung des Objekts bis zur dessen umfassender Erneuerung».

Im Denkmodell ist dieser Zeitraum Gegenstand der LZK-Minimierung und deshalb nicht a priori festgelegt. Im Gegenteil führt das Denkmodell dazu, dass unterschiedliche Varianten mit unterschiedlicher optimaler Nutzungsdauer und somit unterschiedlichem Lebenszyklus verglichen werden.

## 5.2.7 Zusammenfassung

Die oben beschriebenen Bewertungsansätze sind grossteils als Alternativen, zum Teil aber auch komplementär einsetzbar.

Ausgangslage ist bei (fast) allen Ansätzen, dass über einen sinnvoll zu wählenden Betrachtungszeitraum (vgl. Kapitel 5.3) der Kostenstrom auf der Zeitachse bestimmt werden muss. Die folgende Tabelle listet die wichtigsten Vor- und Nachteile der verschiedenen Ansätze auf:

Ansatz	Vorteile	Nachteile
Barwertmethode: Barwert eines langfristigen Kostenstroms (Kap. 5.2.1)	am meisten verbreitet methodisch einfach	Diskussionen über Höhe des „richtigen“ Diskontsatzes, welcher wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis haben kann
Summe eines undiskontierten Kostenstroms (Kap. 5.2.3)	einfach keine Diskussion über die Höhe des Diskontsatzes (vgl. Kap. 5.2.2)	Verzicht auf Diskontierung bei längerem Zeithorizont nur bedingt zulässig
Rentenbarwert, Annuitätenmethode (Kap. 5.2.4)	Varianten unterschiedlicher Lebensdauer vergleichbar, ohne einheitlichen Betrachtungszeitraum festlegen und ohne allfällige Restwerte berücksichtigen zu müssen	gilt nur unter Annahme einer unendlichen Folge von gleichbleibenden Lebenszyklen
Erfahrungswertbasierte Summe von Betriebs- und Erhaltungsausgaben grosser, langlebiger Netze (Kap. 5.2.5)	einfach	Netzzustand muss über Jahre hinweg konstant sein Zukünftige technische Entwicklungen, welche zu Kostenverschiebungen führen, können kaum eingefangen werden
Kostenfunktionen (Kap. 5.2.6)	Optimierung von LZK über Kostenfunktionen durch Errechnung kostenminimaler Variablenkombinationen	Die relevanten Kostentreiber müssen mit genügender Sicherheit als Kostenfunktionen abgebildet werden können

**Abb. 5-12:** Vor- und Nachteile verschiedener Bewertungsansätze

## 5.3 Lebenszyklus und Betrachtungszeitraum

Einige allgemeine Ausführungen zur Festlegung des Betrachtungszeitraums und dem Zusammenhang mit Lebens- resp. Nutzungsdauer finden sich in Kapitel 2.5.1. Nachfolgend wird auf verschiedene Möglichkeiten zur Festlegung des Betrachtungszeitraums, deren Vor- und Nachteile und Anwendungsfälle eingegangen.

### 5.3.1 Länge der Betrachtungszeiträume

Der sinnvolle Betrachtungszeitraum hängt von diversen Faktoren ab, wie z.B. den gesetzten Rahmenbedingungen, den zur Verfügung stehenden Daten und den zukünftigen Handlungsoptionen.

Folgende Möglichkeiten zur Festlegung des Betrachtungszeitraumes stehen grundsätzlich zur Verfügung:

1. Lebensende des langlebigsten tragenden Elementes, welches von einer Erhaltungs-massnahme betroffen/beeinflusst ist (vgl. z.B. [68])

Die Durchführung einer Erhaltungsmassnahme kann Einfluss auf verschiedene Elemente des Strasseninfrastruktursystems haben. Als ein möglicher Betrachtungszeitraum bietet sich die Lebensdauer jenes Elementes an, welches am längsten bestehen bleibt (bis Abbruch/Entsorgung). Wobei dieses Element in der Strukturebene idealerweise zuoberst stehen sollte (z.B. Tunnelröhre). Am Ende dieser Lebensdauer beginnt ein neuer Zyklus, bei dem sämtliche Varianten wieder offenstehen und eine vollkommene Neu Beurteilung stattfindet. Allerdings sind einige Elemente der Strasseninfrastruktur sehr langlebig (Tunnel besitzen beispielsweise eine Lebensdauer von über 100 Jahren), was Prognosen sehr erschwert. Deshalb kommen auch andere Möglichkeiten zur Festlegung des Betrachtungszeitraumes zum Zug.

Typischerweise wird diese Möglichkeit zur Wahl des Betrachtungszeitraums dann gewählt, wenn es darum geht, verschiedene langfristige Unterhaltsstrategien am selben Objekt auf ihre Vorteilhaftigkeit zu prüfen.

Ein weiterer Anwendungsfall ist der Vergleich von Alternativen von Investitionen, bei denen die Annahme getroffen wird, dass sie sich beinahe unendlich oft wiederholen lassen (Stichwort Annuitätenmethode, vgl. Kap. 5.2.4)

Beim Vergleich von einmaligen (nicht wiederholbaren) Investitionen mit uneinheitlicher Lebensdauer, kann es unter Umständen sinnvoll sein, den Betrachtungszeitraum anhand jener Investition mit der längeren oder kürzeren Lebensdauer festzulegen und bei der anderen einen zusätzlichen Kostenwert oder Restwert einzusetzen (vgl. auch Kapitel 5.3.2).

2. Prognostizierbare, individuell festgelegte Zeiträume

Wie sich Entscheidungen bei Investitionen in die Strasseninfrastruktur langfristig auswirken, hängt von sehr vielen verschiedenen Faktoren ab. Diese Faktoren über einen weiten Zeithorizont verlässlich zu prognostizieren, ist sehr schwierig, wenn nicht unmöglich. Fragen wie:

- Wie stark wächst die Bevölkerung bis in 40 Jahren?
- Wie entwickeln sich Zahlungsbereitschaften für Zeitersparnisse?
- Wie entwickeln sich der Ölpreis und der Treibstoffverbrauch von Fahrzeugen?
- Wie viele 60-Töner Lastwagen benutzen in 40 Jahren die Verkehrsachse und welchen Einfluss hat dies auf den Zustand der Fahrbahn?
- Kommt in 30 Jahren eine neue technische Entwicklung auf den Markt oder eventuell bereits in 20 Jahren? Wie gross ist die Wahrscheinlichkeit, dass ich deswegen die heute installierten Elemente ersetzen muss?

können beispielsweise heute nicht mit ausreichender Sicherheit beantwortet werden. Deshalb beschränkt man sich auf einen Zeitraum, in welchem angenommen wird,

dass die exogenen Einflussfaktoren (also jene Faktoren, welche die Entscheidungsträger nicht selbst beeinflussen können) voraussichtlich in etwa konstant bleiben oder eine Prognose noch mit hoher Wahrscheinlichkeit zutreffen wird [68]. Es ist dabei ein Abwägen notwendig zwischen Fehlern, welche durch falsche Annahmen bei den Einflussfaktoren entstehen können und Fehlern, welche durch die nicht Berücksichtigung weit in Zukunft liegender Zahlungsströme entstehen.

Der sinnvolle Zeitraum kann vom Entscheidungsträger je nach Fragestellung individuell festgelegt werden. Ein besonderes Ereignis in der Zukunft (wie z.B. ein Spurausbau) kann beispielsweise ein Anlass sein, lediglich bis zu diesem Zeitpunkt eine Bewertung vorzunehmen. Wichtig ist, dass der Entscheidungsträger sich immer vollständig bewusst ist, auf welcher Basis er die spätere Entscheidung getroffen hat. Die LCC-Betrachtung liefert die beste Lösung unter den getroffenen Annahmen. Wenn die Annahmen sich als nicht richtig oder unzureichend erweisen, war womöglich auch die auf dieser Basis getroffene Entscheidung falsch.

### 3. Vorgegebene Zeiträume

In der Praxis werden Betrachtungszeiträume häufig fix vorgegeben. In der untenstehenden Tabelle finden sich beispielhaft Angaben zu einigen von amerikanischen Strasseninfrastrukturbetreibern verwendeten Zeitperioden:

Staat	Alabama	Colorado	Indiana	New Jersey	Ohio
Betrachtungszeitraum	28	40	30 und 40	10, 20, 30 und 40	35

**Abb. 5-13:** Beispiele von Betrachtungszeiträumen staatlicher amerikanischer Strasseninfrastrukturbetreiber [97]

Die fixe Festlegung eines Betrachtungszeitraumes bringt einige Vorteile aber auch Nachteile gegenüber der flexiblen individuellen Festlegung mit sich.

Als Vorteil gilt, dass dem Entscheidungsträger verunmöglicht wird, einen allzu kurzen Betrachtungszeitraum zu wählen. Er muss sich auch keine Gedanken über die Wahl des "richtigen" Zeitraumes machen, da dieser fix definiert ist. Die Ergebnisse sind miteinander gut vergleichbar, da immer die gleiche Methode (Nettoarwert, vgl. Kapitel 5.2.1) und der gleiche Planungshorizont zum Zug kommt.

Der gewichtige Nachteil eines fixierten Betrachtungszeitraums liegt darin, dass dieser unter Umständen für die vorliegende Fragestellung nicht optimal ist und deshalb nicht zu optimalen Ergebnissen führt. Bei manchen Entscheidungen werden die relevanten Zahlungsströme beispielsweise unter Umständen erst nach dem vorgegebenen Ende des Betrachtungszeitraumes realisiert. In anderen Fällen mögen die Zahlungsströme viel zu unsicher sein, als dass man sie, bei einer individuellen Betrachtung, über den gesamten vorgegebenen Planungshorizont prognostizieren würde.

Da der Betrachtungszeitraum starr festgesetzt ist, kommt auch der Restwertbetrachtung besondere Bedeutung zu. Auf diese Thematik wird im nächsten Unterkapitel näher eingegangen.

Die Wahl der Länge des Betrachtungszeitraumes kann das Ergebnis der Lebenszykluskosten-Betrachtung stark beeinflussen. Falls die Unsicherheiten gross sind, wird deshalb empfohlen, im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse Berechnungen für mehrere unterschiedliche Betrachtungszeiträume vorzunehmen.

Bei Anwendung der Nettoarwertmethoden zum Vergleich von Varianten müssen deren Betrachtungszeiträume miteinander übereinstimmen. Bei der Anwendung der Annuitätenmethode wird implizit angenommen, dass sich die Investitionen unendlich oft nacheinander wiederholen lassen. In diesem besonderen Fall ist es möglich, voneinander abweichende Zeiträume für den Vergleich von zwei oder mehreren Varianten zu benutzen und dann einen durchschnittlichen jährlichen Kostenwert (Annuität) zu berechnen.

Als grundsätzliche Regel kann festgehalten werden, dass der sinnvolle Betrachtungszeitraum alle wesentlichen Zahlungsströme umfassen sollte, d.h. Zahlungen welche sich in ihrer Höhe und bezüglich Ausführungszeitpunkt von Variante zu Variante stark unterscheiden, gut prognostizierbar sind und eher in naher als in ferner Zukunft ausgeführt werden.

### 5.3.2 Vergleich von Varianten mit unterschiedlichen Lebenszyklen (Lebensdauern, Kostenströmen); Restwertproblematik

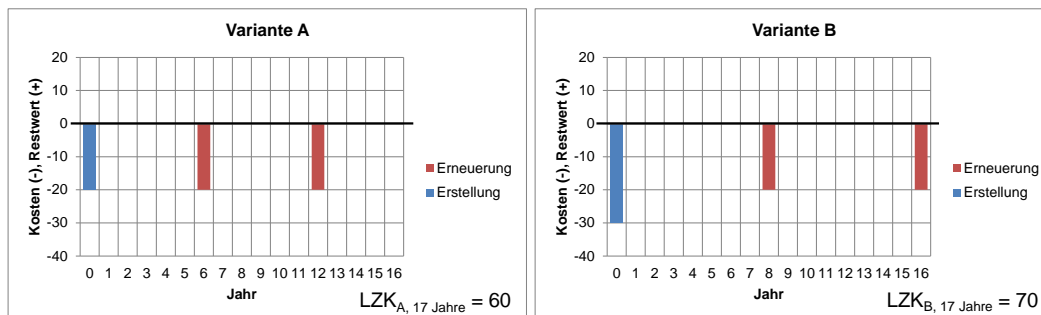
Wie bereits erwähnt, kann bei einem Vergleich von Massnahmen mit unterschiedlicher Lebensdauer und sich regelmässig wiederholender Lebenszyklen grundsätzlich die Annuitätenmethode verwendet werden (vgl. Beschreibung oben). Liegen keine sich regelmässig wiederholenden, gleichbleibenden Zyklen vor resp. möchte man die mit der Annuitätenmethode verbundenen Annahmen umgehen und mit der Kapitalwertmethode arbeiten, stellt sich die Frage der Bewertung am Ende des Betrachtungszeitraumes, wenn eine Variante das Ende ihrer Lebensdauer noch nicht erreicht hat.

Die folgenden Überlegungen werden am Beispiel einer Anlage illustriert, für die zwei Varianten mit unterschiedlicher Lebensdauer denkbar sind:

- Variante A mit tiefen Erstellungskosten und einer Lebensdauer von sechs Jahren
- Variante B mit höheren Erstellungskosten, gleichen Erneuerungskosten wie Variante A und einer Lebensdauer von acht Jahren

Betriebs- und Unterhaltskosten werden im Beispiel vernachlässigt.

Bei einem Betrachtungszeitraum von beispielsweise 17 Jahren wären die undiskontierten Lebenszykluskosten bei Variante B ohne weitere Überlegungen höher als bei Variante A. Dabei bliebe ausser acht, dass die Anlage in Variante A bereits zwei Jahre später erneuert werden muss, während die Anlage bei Variante B am Ende des Betrachtungszeitraums quasi wieder Neuwert hätte. Offensichtlich keine gerechte Beurteilung.

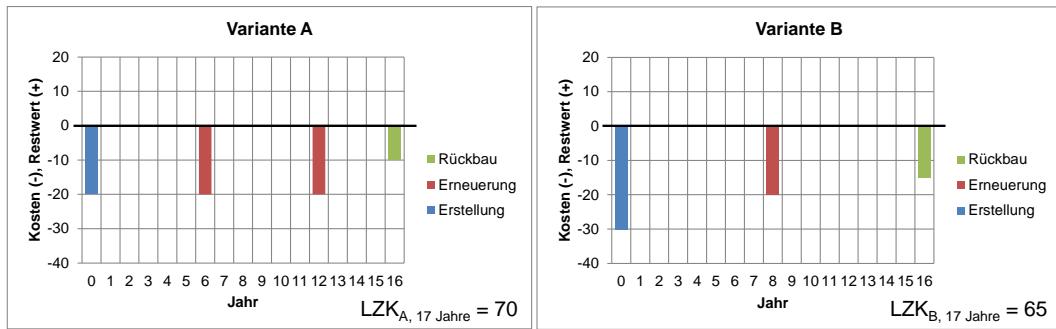


**Abb. 5-14:** Kostenströme von Anlagevarianten mit unterschiedlicher Lebensdauer. Die Lebenszykluskosten der teureren Variante mit längerer Lebensdauer würden bei dem gewählten Betrachtungszeitraum zu ungünstig geschätzt.

#### Annahme: Ersatzloser Rückbau der Anlage am Ende des Betrachtungszeitraums

Eine etwas gerechtere Beurteilung würde man erzielen, wenn man annimmt, dass die Anlage am Ende des Betrachtungszeitraums – hier im Jahr 16 – ersatzlos zurückgebaut wird. Das ist natürlich dann legitim, wenn die erwartete Nutzungsdauer der Anlage auch gerade diesem Zeitraum entspricht (Variante B); andernfalls führt die Annahme dazu, dass teure Investitionen für eine nur kurze Restnutzungsdauer getätigt werden (Variante A).

Für die Rückbaukosten nehmen wir im Beispiel 50% der Erstellungskosten an. Im einfachsten Fall ergäbe sich folgendes Bild:



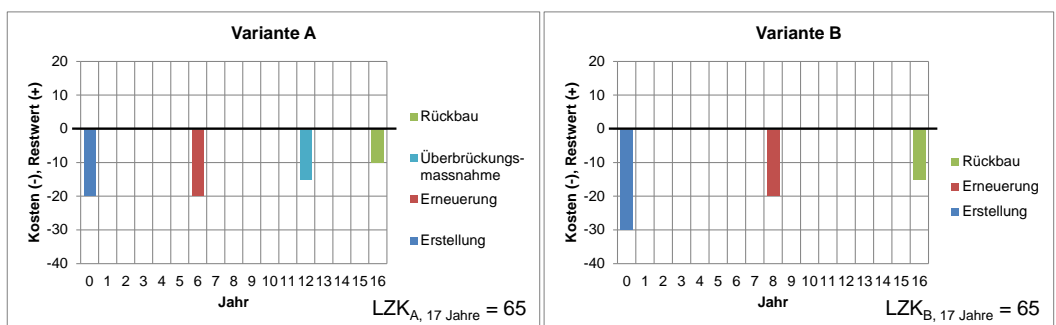
**Abb. 5-15:** Kostenströme von Anlagevarianten mit unterschiedlicher Lebensdauer. Die Vergleichbarkeit der Lebenszykluskosten wird hier durch die Annahme eines ersatzlosen Rückbaus am Ende des Betrachtungszeitraums verbessert

Jetzt ist Variante A teurer als Variante B. Aber ist das nun fair? Variante A wäre am Ende des Betrachtungszeitraums ja noch brauchbar, während Variante B wirklich das Ende ihrer Lebensdauer erreicht hätte. Fairer wäre der Vergleich, wenn die letzte Erneuerungsmassnahme bei Variante A nur noch für eine Restlebensdauer von vier Jahren reichen müsste und damit eventuell billiger gestaltet werden könnte, oder wenn man bei Variante A einen Restwert annähme.

### Überbrückungsmassnahmen

Im Beispiel wird für Variante A vor dem Ende des Betrachtungszeitraums eine Überbrückungsmassnahme gewählt, damit sich die Gesamtlebensdauern der zu betrachtenden Varianten so wenig wie möglich unterscheiden.

Wir kommen dem Begriff Lebenszyklus damit relativ nahe, denn es wird implizit angenommen, dass am Ende des Betrachtungszeitraumes alle Investitionsmöglichkeiten wieder offen stehen, respektive keine Abhängigkeiten mehr von früheren Investitionen gegeben sind.



**Abb. 5-16:** Kostenströme von Varianten mit unterschiedlicher Lebensdauer. Definition von speziellen Überbrückungsmassnahmen, um die Gesamtlebensdauer mit dem Betrachtungszeitraum in Übereinstimmung zu bringen

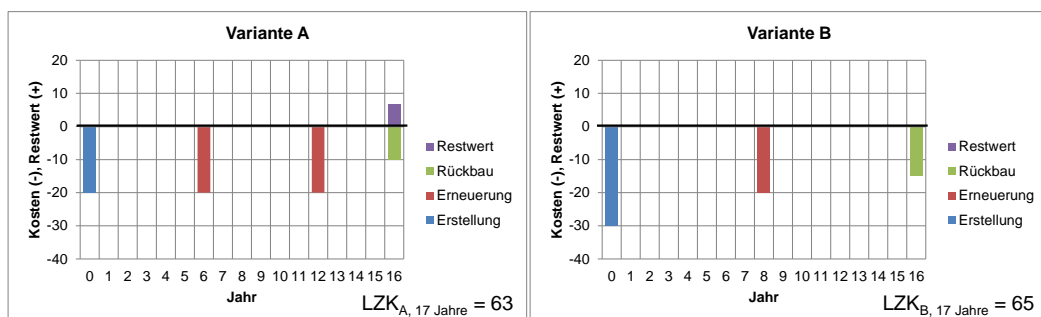
Die Erhaltungsstrategien sind nun so definiert, dass die Anlage in beiden Varianten am Ende des Betrachtungszeitraums, zum Zeitpunkt ihres angenommenen Rückbaus, keinen Gebrauchswert mehr hat. Das gilt auf jeden Fall, wenn der Betrachtungszeitraum wirklich der erwarteten Nutzungsdauer entspricht.

### Restwert

Eine weitere Möglichkeit um Vergleichbarkeit herzustellen ist die Einsetzung eines Restwertes. Als Restwert wird jener Wert bezeichnet, welchen ein Element oder ein System am Ende des Betrachtungszeitraumes noch aufweist, weil nach wie vor ein Nutzen aus ihm gezogen werden kann. Der Restwert kann sich beispielsweise auf den Wiederverwertungswert, den Verkaufswert, den Nutzungs- oder Umnutzungswert beziehen. Für Strassenanlagen gibt es jedoch in der Regel keinen Markt, was die Bewertung schwierig

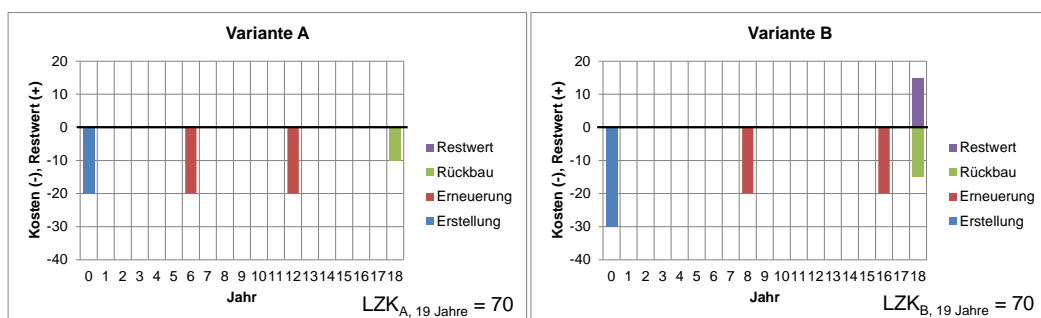
macht. Eine in der Literatur beschriebene, einfache Bewertungsregel ist die Ermittlung des Wertes anhand der Kosten der letzten grösseren Erhaltungsmassnahme vor Ende des Betrachtungszeitraumes [98] [68]. Die Kosten werden pro Rata für die grundsätzlich nach Ende des Betrachtungszeitraumes noch verbleibenden Jahre als Restwert gutgeschrieben. Diese Methode der Bewertung hat aber den Nachteil, dass sie tatsächlich nur gerade der letzten Massnahme einen Wert zuschreibt, der Wert des Elementes oder des Systems als Ganzes bleibt ausser Acht. Eine weitere Folge ist, dass einer Massnahme, welche möglicherweise schlecht ist und hohe Kosten verursacht, ein grösserer Restwert zugesprochen wird als einer Massnahme welche gut ist und geringe Kosten aufweist [93].

Kommt hinzu, dass sich je nach Festlegung des Betrachtungszeitraums erhebliche Unterschiede in der Beurteilung der Lebenszykluskosten ergeben können. In folgender Abbildung sind die Lebenszykluskosten im Fallbeispiel für den Betrachtungszeitraum von 17 Jahren und einem entsprechend der obigen Methode berechneten Restwert für Variante A dargestellt. Variante B hat ja am Ende des Betrachtungszeitraums keinen Restwert mehr. Im Fallbeispiel hat Variante A nun die günstigeren Lebenszykluskosten.



**Abb. 5-17:** Kostenströme von Varianten mit unterschiedlicher Lebensdauer und Berücksichtigung von Restwerten

Wenn man den Betrachtungszeitraum verändert, verändert sich die Variantenbeurteilung. In folgendem Beispiel ist der Betrachtungszeitraum nun am Lebenszyklus von Variante A ausgerichtet und beträgt 19 Jahre. Variante A hat hier am Ende keinen Restwert mehr, aber für Variante B lässt sich, wieder nach der oben beschriebenen Methode, ein beträchtlicher Restwert ausweisen. Das führt dazu, dass beide Varianten bezüglich ihrer Lebenszykluskosten gleich dastehen.



**Abb. 5-18:** Kostenströme von Varianten mit unterschiedlicher Lebensdauer: Bei Berücksichtigung von Restwerten kann die Variantenbeurteilung stark vom Betrachtungszeitraum abhängen.

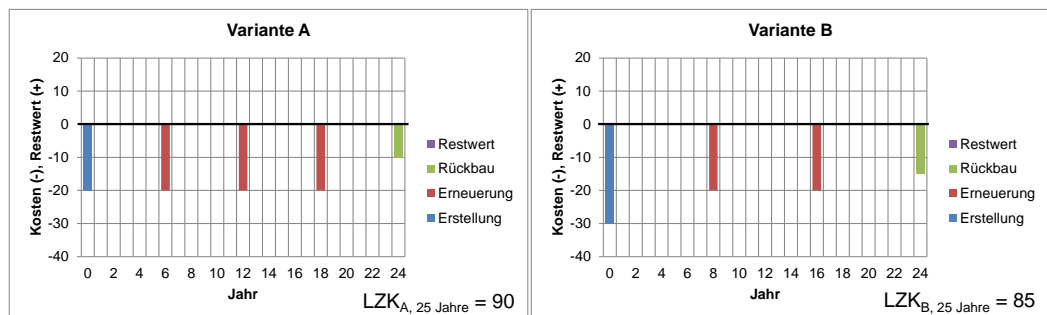
Grundsätzlich sollte der Restwert einer Infrastruktur, welche nach Ende des Betrachtungszeitraumes weiter verwendet und erneut saniert wird, darauf basierend berechnet werden, inwiefern der momentane Zustand dazu beiträgt, die gewünschte strukturelle Kapazität wieder herzustellen. Es stellt sich also die Frage, wie stark die zu erwartenden Sanierungskosten durch den gegenwärtigen (respektive prognostizierten) Zustand reduziert werden können [93]. In diesem Zusammenhang wird auf den bei Fastrich, A. [99] erwähnten und in der SN 640904 [100] zu findenden Ansatz zur Bewertung von Fahr-

bahninfrastruktur verwiesen.

Bei langen Betrachtungszeiträumen spielt die Höhe des Restwertes in der Regel eine untergeordnete Rolle und kann grundsätzlich vernachlässigt werden. Falls Varianten sehr unterschiedliche Nutzungsdauern haben, sollte dies aber in den für die Entscheidungsfindung relevanten Unterlagen entsprechend dokumentiert werden [101].

### Betrachtungszeitraum als gemeinsames Vielfaches der Lebenszyklen

Ist das Ende der Anlagennutzung nicht sicher vorherzusagen, lassen sich die Probleme mit der Restwertbestimmung umgehen, indem der Betrachtungszeitraum so festgelegt wird, dass die Anlage bei allen Varianten am Ende ihrer Lebensdauer angekommen ist. Im Beispiel beträgt das kleinste gemeinsame Vielfache der Lebenszyklen 24 Jahre. Variante A hat dann vier Lebenszyklen durchlaufen, Variante B drei Lebenszyklen. Bei einem Betrachtungszeitraum von 25 Jahren hat Variante B eindeutig tiefere Lebenszykluskosten als Variante A; Restwerte bestehen eindeutig nicht.



**Abb. 5-19:** Kostenströme von Varianten mit unterschiedlicher Lebensdauer: Ist die verbleibende Nutzungsdauer der Anlage nicht sicher vorauszusagen, sollte der Betrachtungszeitraum auf die Lebensdauer aller betrachteten Varianten abgestimmt sein

Zusammenfassend lässt sich folgendes sagen:

- Standardwerte für den Betrachtungszeitraum führen tendenziell dazu, dass der Umgang mit Restwerten ein höheres Gewicht erhält, da der Betrachtungszeitraum nicht optimal auf die Lebenszyklen der Varianten abgestimmt werden kann.
- Der Umgang mit Restwerten kann, insbesondere bei kürzeren Betrachtungszeiträumen, relevanten Einfluss auf das Ergebnis haben.
- Soweit möglich ist es empfehlenswert, den Betrachtungszeitraum so festzulegen, dass die Bestimmung von fiktiven Restwerten möglichst umgangen werden kann resp. dass deren Einfluss auf das Resultat gering ist (vgl. auch praktische Hinweise im Fallbeispiel in Kapitel 6.2.4).
- Für die Bestimmung des Restwertes gibt es verschiedene Ansätze (vgl. oben). Welcher sich am besten eignet, ist situationsbezogen zu entscheiden.

### 5.3.3 Umgang mit Abbruchkosten

Abbruchkosten sind bei der Lebenszykluskostenbetrachtung grundsätzlich immer zu berücksichtigen. Einzig im Variantenvergleich, wenn sich Höhe und Zeitpunkt der Abbruchkosten nicht oder nicht gravierend (d.h. für die Entscheidungsfindung nicht relevant) unterscheiden, dürfen sie weggelassen werden.

Beim Einbezug von Abbruchkosten am Ende der Nutzungsdauer ist allerdings Vorsicht angezeigt. Abbruchkosten einer alten Anlage sind häufig in die Kosten einer neuen Anlage eingerechnet. Es gilt aufzupassen, dass Kosten so nicht doppelt gezählt werden.



## 5.4 Umgang mit Unsicherheiten und Risiken

In der Planung – zu welcher auch das Strassen- und Erhaltungsmanagement gehört – ist man immer auch mit Unsicherheiten und Risiken konfrontiert. Im Zusammenhang mit der Berechnung von Lebenszykluskosten kann der (unterschiedliche) Umgang mit Unsicherheiten und Risiken grossen Einfluss auf das Ergebnis haben.

Zu unterscheiden ist zwischen Unsicherheiten/Risiken, welche beeinflusst und solchen, welche nicht beeinflusst werden können. Nicht beeinflussbar sind (im Normalfall) z.B. absehbare Gesetzesänderungen. Zumindest teilweise beeinflusst werden können hingegen Unsicherheiten, welche Teil der Erhaltungsmassnahmen sind. Entweder, indem mehr resp. bessere Informationen zum Streubereich z.B. einer Zustandsprognose beschafft werden. Oder indem z.B. bei der Massnahmenkonzeption eine Systemkomponente mit besser bekannter Ausfallswahrscheinlichkeit gewählt wird.

Nachfolgend sind die wesentlichen Kategorien von Einflussgrössen, deren Entwicklung mit Unsicherheiten behaftet ist und Einfluss auf die LZK haben, aufgelistet (vgl. auch Kapitel 4.3):

- Zustandsentwicklung der Anlage resp. von Objekten/Teilobjekten
- Technologische Entwicklung
- Kostenentwicklung verschiedener Technologien
- Kostenentwicklung (Einheitskosten) für Betrieb und Unterhalt
- Gesetzlicher Rahmen, Normen
- Änderungen von politisch bestimmten Qualitätsvorgaben, z.B. bezüglich Sicherheitsstandards
- Verkehrsentwicklung, Nutzungsintensität
- Parallelprojekte (solche im eigenen Portfolio und solche Dritter)
- Finanzrahmen, Budgetvorgaben

Ein Unsicherheitsfaktor allgemeiner Art, welcher die Unsicherheiten der allgemeinen Entwicklung überlagert, ist jener der Daten(nicht)verfügbarkeit resp. der Datenqualität.

Wie ist mit diesen Unsicherheiten umzugehen? Im Grundsatz ist in folgenden vier Schritten vorzugehen:

1. Identifikation der Unsicherheiten (z.B. bezüglich Zustandsentwicklung, technologischem Fortschritt, Verkehrsaufkommen, etc.)
2. Welche dieser Unsicherheiten sind für die Berechnung der LZK relevant? (Dies ist evtl. erst nach einer Quantifizierung und der Integration ins Kostenmodell beantwortbar)
3. Auf geeignete Weise sind die relevanten Unsicherheiten zu quantifizieren und im Kostenmodell zu berücksichtigen. Die Quantifizierung besteht aus einer Ermittlung der Spannbreite der Unsicherheiten, einer Ermittlung/Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeiten und einer geeigneten methodischen Berücksichtigung im Kostenmodell (vgl. auch Beispiele in Kapitel 3.4).
4. Die Sensitivität der Resultate ist auszuweisen (einfache Sensitivitäten/Streubereiche und/oder risikanalytisch mittels Erwartungswerten und Konfidenzintervallen).

Sofern eine einigermaßen zuverlässige Einschätzung der Unsicherheiten und Risiken vorliegt (Spannbreite, Eintretenswahrscheinlichkeiten), können diese im Kostenmodell ebenfalls zur Minimierung der LZK genutzt werden. Unter Berücksichtigung der Eintretenswahrscheinlichkeiten und Kostenfolgen der involvierten Objekte und Teilobjekte können Zeitpunkt und Massnahmen für Erhaltungsmassnahmen so gewählt werden, dass die Synergien optimal ausgenutzt und damit die LZK minimiert werden.

Liegen zu den Unsicherheiten keine zuverlässigen Daten vor, so sind qualitative oder semi-quantitative Einschätzungen notwendig (z.B. Risikomatrix, SWOT-Analyse, Delphi-Methode). Je nach Risikoaversität kann das Ausmass der Unsicherheiten z.B. reduziert werden, indem Erhaltungsmassnahmen unter Berücksichtigung einer Sicherheitsmarge

eher etwas früher ergriffen werden. Oder es wird eine Variante mit einer anderen Technologie resp. einem anderen Produkt gewählt, zu welchen zuverlässigere Angaben bezüglich Zustandsentwicklung, Lebensdauer, Eintretenswahrscheinlichkeiten, etc. existieren. Zu beachten ist, dass so aber tendenziell nicht die LZK-minimale Strategie gewählt wird.

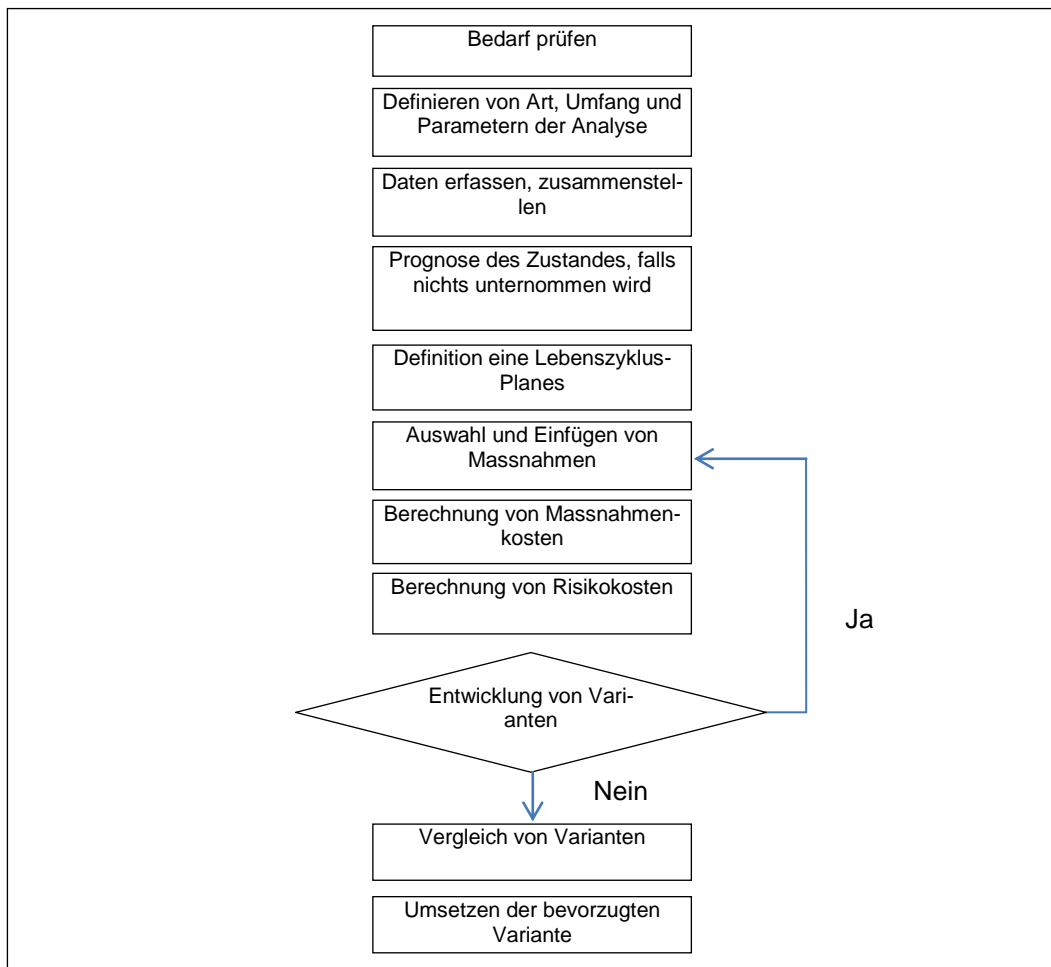
Folgendes Beispiel soll die Wichtigkeit des Einbezugs und der Beurteilung von Unsicherheiten illustrieren: Wenn Unsicherheiten über die Lebensdauer eines kostenrelevanten Elements bestehen, für die LZK von zu optimistischen Annahmen bezüglich Lebensdauer ausgegangen wird, dann aber ein frühzeitiger Ersatz notwendig wird, kann dies auch bei weiteren Elementen zu relevanten Kosten führen. Die LZK basierten somit auf unrealistischen Annahmen, was in der Praxis möglicherweise zu einer eben nicht LZK-minimalen Variantenwahl führte.

Zu den methodischen Grundlagen für Entscheidungen unter Unsicherheit existiert eine Grosszahl von Lehrbüchern und Publikationen, auf welche hier verwiesen wird (z.B. Forschungsbericht „Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung“ [102] im Rahmen des Forschungspakets Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten). Die konkrete Aufarbeitung der Thematik im Kontext der Erhaltungsplanung würde den Rahmen dieser Forschungsarbeit sprengen. Dazu sollte ein separates Forschungsprojekt formuliert werden.

## 5.5 Der LCC-Prozessablauf

In den vorangehenden Kapiteln wurden die für die Lebenszykluskostenbetrachtung relevanten Themengebiete einzeln beleuchtet. Damit die Berechnung eines Vergleichswertes stattfinden kann, müssen eine Vielzahl von Entscheidungen und Annahmen getroffen werden. Diese beeinflussen sich teilweise gegenseitig. Eine simultane Bearbeitung der Themengebiete ist aber auf Grund der Menge der zu treffenden Annahmen und Entscheidungen nur beschränkt möglich. Um eine ausreichende Berücksichtigung sämtlicher relevanter Aspekte zu gewährleisten, ist die Definition eines Prozessablaufs notwendig. Einige beispielhafte Prozessabläufe werden an dieser Stelle kurz vorgestellt:

Die englische LoBEG (London Bridges Engineering Group) [103] empfiehlt ein Vorgehen in 10 Schritten.

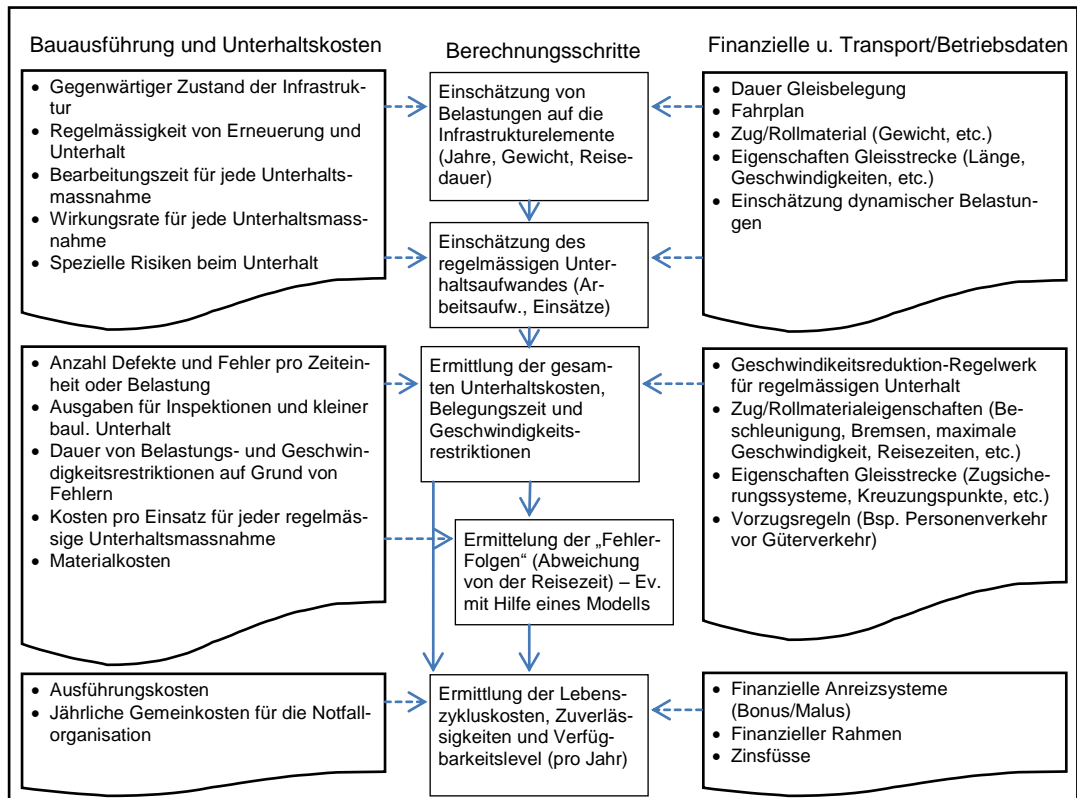


**Abb. 5-20:** Lebenszykluskosten-Planungsprozess gemäss LoBEG [103]

Zunächst wird überprüft, inwieweit Bedarf besteht, eine Lebenszykluskostenbetrachtung durchzuführen. Es geht hierbei insbesondere auch um eine Frage der Wirtschaftlichkeit, denn die Betrachtung ist unter Umständen mit einem hohen Ressourceneinsatz verbunden. Danach wird die Art der Betrachtung festgelegt: Welche Kostenarten (Betreiber, Nutzer, Dritte) werden berücksichtigt? Welche Kosten werden monetarisiert? Der physische Umfang der Betrachtung (welche Elemente, Objekte werden berücksichtigt) sowie der Betrachtungszeitraum und die Diskontrate werden festgelegt. Im dritten Schritt werden Daten erhoben. Dazu gehören zum Beispiel: Angaben über Beschaffenheit, Umfang und Zustand der betroffenen Bauelemente; Identifikation der Rahmenbedingungen; Zustandsverläufe und zu erwartende Verfügbarkeit der Infrastruktur (inkl. Einfluss des Verkehrsaufkommens und der Umwelt auf diese zwei Faktoren); Identifikation möglicher Massnahmen und Einheitskosten. LoBEG empfiehlt, danach ein Szenario zu entwickeln

für den Fall, in dem man keine Massnahmen durchführt. Dieses Szenario dient als Basis für die Entwicklung von Varianten. Danach wird die Unterhaltsstrategie zunächst grob definiert und danach mit Massnahmen (welche begründet werden sollten) versehen. Mit Hilfe von vordefinierten Prozessen werden die Kosten für einzelne Massnahmen und Kombinationen davon ermittelt. Unterschiedliche Risikokosten werden berechnet. Falls mehrere Varianten verglichen werden sollen, wiederholen sich diese Schritte nach Bedarf einige Male. Danach erfolgt ein Vergleich der Varianten anhand von Investitionskosten, Risiken und Nettobarwert. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise ist im Dokument „Lifecycle Planning for Highway Structures“ von LoBEG zu finden [103].

Von Zoeteman, A. [104] stammt nachfolgender Prozess, er bezieht sich auf die Lebenszykluskostenbetrachtung von Eisenbahninfrastrukturen:

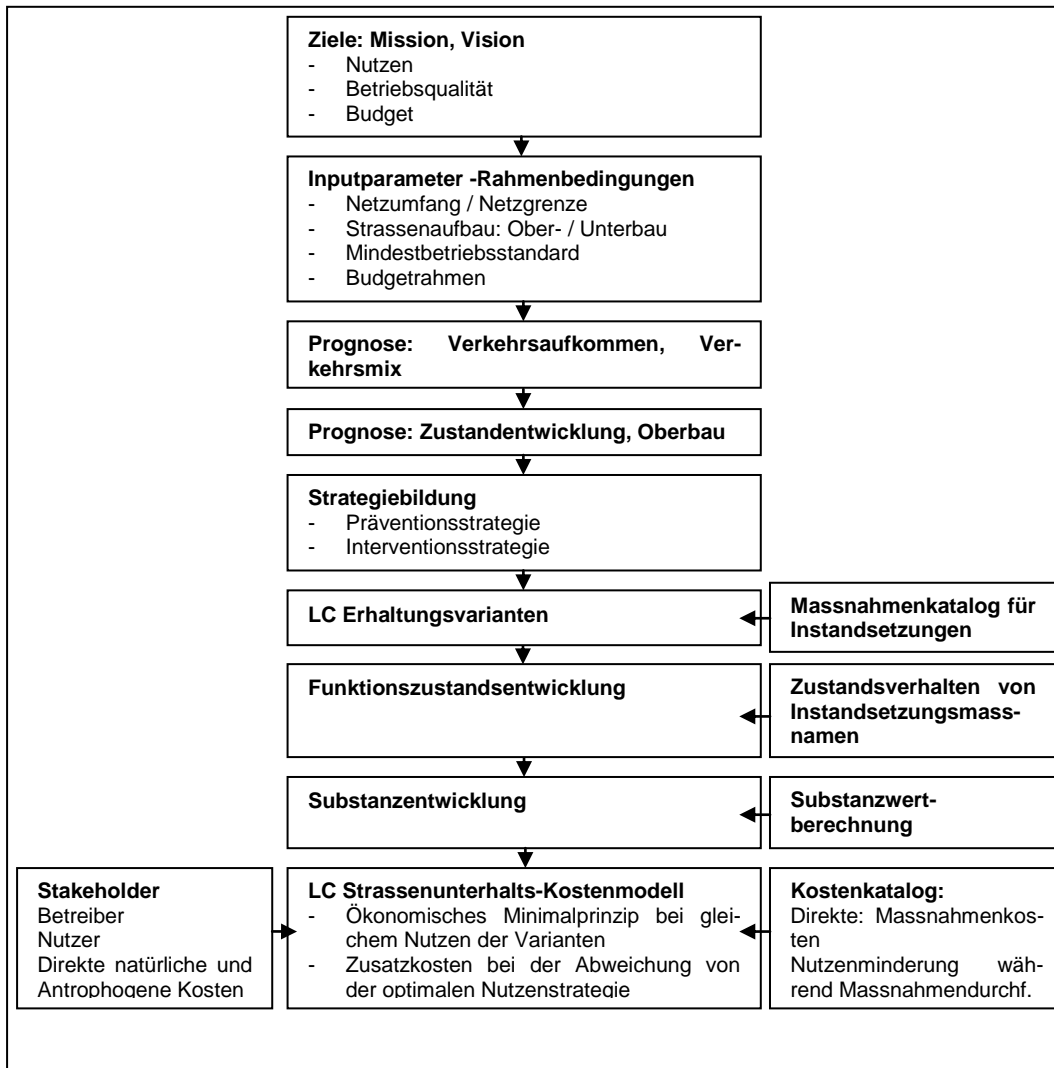


**Abb. 5-21:** LCC Entscheidungsunterstützungssystem gemäss Zoeteman, A. [104]

In der Mitte befinden sich die Angaben zu den einzelnen Berechnungsschritten, den Kästen rechts und links die benötigten Grundlagendaten. Die gepunkteten Pfeile repräsentieren den Gebrauch von Daten aus Datensammlungen. Was als Grunddaten ermittelt werden muss, wird anhand von Checklisten festgelegt. Als Datenquelle kommen empirische Erhebungen (momentan kaum vorhanden oder verlässlich) oder Expertenmeinungen in Frage. Ermittelt werden Kosten für Bau, Unterhalt und Erneuerung, Fehler, Inspektionen und Risiken. Zusätzlich werden Angaben zu Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit von Alternativen gemacht.

Girmscheid, G. [105] beschreibt ein Vorgehenskonzept, welches am Institut für Bauplanung und Baubetrieb der ETH Zürich gemeinsam mit dem Schweizerischen Verband der Strassen und Verkehrsfachleute (VSS) entwickelt wurde. Es bezieht sich auf die Berechnung von Lebenszykluskosten von Fahrbahnen, respektive deren Oberbau. Dabei wird ein starker Bezug zu Modellen zur Prognose von Zuständen hergestellt. Nach Festlegung der Ziele und der Definition von Rahmenbedingungen werden das Verkehrsaufkommen und der Verkehrsmix prognostiziert. Anhand dieser Prognosen wird das Zustandsverhalten der Fahrbahn über einen gewählten Betrachtungszeitraum simuliert. Den vordefinierten Zielen und Rahmenbedingungen entsprechend, werden Massnahmen ausgewählt.

Diese Massnahmen beeinflussen wiederum den Zustandverlauf der Fahrbahn. Die Folgen für die Entwicklung des Substanzwertes der Fahrbahn werden bestimmt. Die definierten Unterhaltsstrategien werden dann mit Hilfe der Nettobarwertmethode und Daten aus einem Kostenkatalog bewertet.



**Abb. 5-22:** Lebenszyklusorientiertes Kosten-Barwert-Strassenunterhaltsmodell gemäss Girmscheid, G. [105]

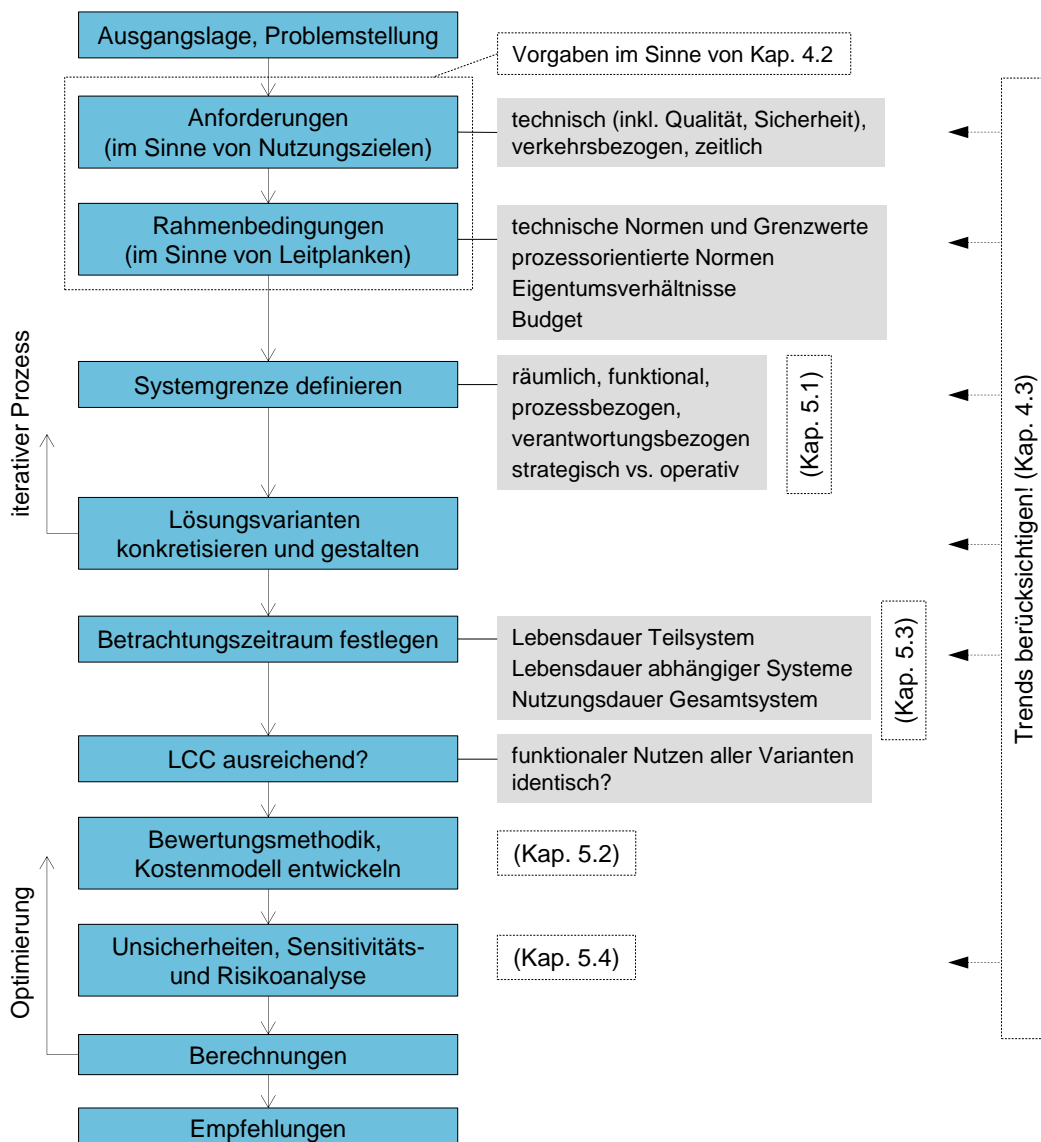
Weitere Beispiele von Prozessabläufen finden sich unter anderem im Life Cycle Costing Guide des Australia National Audit Office [106] oder bei Setunge, S. et al. [75].



## 6 Werkzeugkasten für die praktische Anwendung

### 6.1 Schema für den Prozessablauf des Life Cycle Costing; Checkliste

Das nachfolgende Schema zeigt die einzelnen Elemente resp. Schritte auf, welche zu einem vollständigen Life Cycle Costing gehören. Die Elemente werden – dem Ansatz des “Systems Engineering” folgend – in einen strukturierten Entwicklungsprozess eingebunden. In der Praxis kann es durchaus sein, dass die Reihenfolge im skizzierten Prozessablauf etwas umgestellt werden kann und sehr stark iterativ gearbeitet wird (für alternative Prozessabläufe siehe Kapitel 5.5). In diesem Sinne sind die einzelnen Schritte im Schema auch als Checkliste zu verstehen, damit nichts vergessen wird.

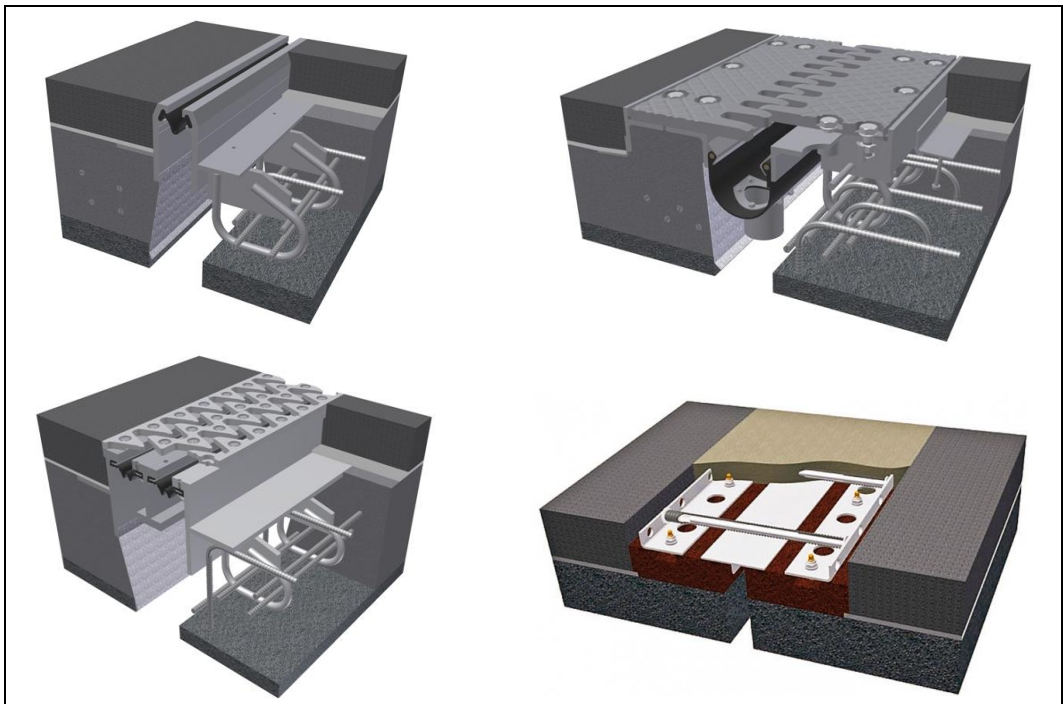


**Abb. 6-1:** Schema für Prozessablauf LCC; Checkliste

In Kapitel 6.2 wird der Prozess des LCC anhand eines fiktiven Fallbeispiels durchgespielt. Kapitel 6.3 enthält einen Katalog von „Frequently Asked Questions“ (FAQ) mit kurzen Antworten und Verweisen auf weiterführende Erläuterungen im Bericht.

## 6.2 Fallbeispiel Fahrbahnübergang

Es gibt verschiedene Typen von Fahrbahnübergängen bei Brücken, die mechanisch unterschiedlich komplex sind und unterschiedliche Lebenszykluskosten haben.



**Abb. 6-2:** Typen von Fahrbahnübergängen (Beispiele; Quelle: hebag AG)

### Ausgangslage

Im Fallbeispiel gehen wir von folgendem aus: Eine Zustandsbeurteilung hat ergeben, dass die Fahrbahnübergänge einer mittelgrossen, zweistreifigen Brücke an einer Hauptverkehrsstrasse durch Agglomerationsgebiet stark abgenutzt sind; ein Ersatz scheint notwendig. Zur Ermittlung einer lebenszykluskostenminimalen Lösung gehen wir entsprechend dem vorgeschlagenen Prozessablauf vor.

**Hinweis:** Das Fallbeispiel ist fiktiv! Alle Parameter sind auf einen möglichst guten illustrativen Wert ausgerichtet. Die angegebenen Werte für Kosten, Ausführungsdauer, Lebensdauer, Anfälligkeit für Schäden, Verkehrsbeschränkungen usw. sind zwar einigermaßen realistisch und plausibel bestimmt, aber nicht aus wirklichen Beispielen abgeleitet.

### 6.2.1 Anforderungen und Rahmenbedingungen klären

Zu Beginn sind die Nutzungsziele des Fahrbahnübergangs (FBÜ) zu definieren, welche die (minimalen) Anforderungen vorgeben. Die Anforderungen an den Fahrbahnübergang sind durch das Brückenbauwerk und die Verkehrsbelastung bestimmt. Auch sollten schon zu Beginn erste Überlegungen zur erwarteten Nutzungsdauer angestellt werden.

#### technische Anforderungen

- Was ist das für eine Brücke, welche Abmessungen hat sie?
- Wie gross sind die Deformation und die zu bewältigende Längenänderung? Wie ist das Schwingungsverhalten?
- Wie ist die Brücke fundiert? Werden Setzungen in Kauf genommen?

Im Fallbeispiel gehen wir davon aus, dass aufgrund der technischen Anforderungen zwei verschiedene Typen von Fahrbahnübergängen in Frage kommen. Die Abmessungen sind in den Kostenangaben implizit berücksichtigt.



#### *verkehrliche Anforderungen*

- Mit welcher Verkehrsbelastung muss langfristig gerechnet werden?
- Wie gross ist der Schwerverkehrsanteil?
- Welche Verkehrsträger müssen speziell berücksichtigt werden (z.B. Motorradfahrer, Langsamverkehr)?

Im Fallbeispiel nehmen wir folgendes an:

- DTV pro Richtungsfahrbahn 5'000 Fahrzeuge
- Zunahme pro Jahr um 50 Fahrzeuge pro Richtungsfahrbahn
- Der Schwerverkehrsanteil ist implizit in der Lebensdauer, den Unterhaltskosten und der Schadensanfälligkeit berücksichtigt
- Anforderungen anderer Verkehrsträger sind nicht speziell zu berücksichtigen

#### *Anforderungen Dritter*

- Welche weiteren Interessen sind zu berücksichtigen? Beispielsweise möglichst geringer Lärm beim Überfahren.

Im Fallbeispiel nehmen wir an, dass keine weiteren Interessen zu berücksichtigen sind. Es gibt zum Beispiel keine Anwohner, die durch das Überfahrgeräusch beim Fahrbahnübergang belästigt würden.

#### *zeitliche Anforderungen*

- Wie lange soll die Brücke noch benutzt werden? Ist in absehbarer Zeit damit zu rechnen, dass die Brücke ersetzt werden muss?
- Wird es Veränderungen im Strassennetz geben, so dass sich die verkehrliche Nutzung grundlegend ändern wird?
- Sind in absehbarer Zeit grössere Bauarbeiten an der Brücke geplant, in deren Rahmen der Ersatz der Fahrbahnübergänge vorgenommen werden könnte?

Vor allem hinsichtlich der zeitlichen Aspekte sind alle Stakeholder zu identifizieren, die Bauarbeiten an der Brücke auslösen könnten.

Die Anforderungen bestimmen, welche Typen von Fahrbahnübergängen in Frage kommen.

Bezüglich der Nutzungsdauer wird schon früh angesprochen, ob eine langlebige, teure Lösung in Frage kommt oder ob auch eine billigere Variante mit kürzerer Lebensdauer in Kauf genommen werden kann.

Hinsichtlich des günstigsten Ausführungszeitpunkts wird die Frage gestellt, ob sich der Ersatz der Fahrbahnübergänge mit anderen Bauarbeiten kombinieren lässt, was günstigere Ausführungskosten und geringere Betriebserschwernisse ermöglicht. Das geht natürlich nur dann, wenn der Zustand des alten Fahrbahnübergangs noch eine Überbrückung der Zeit bis zur grossen Bauarbeit erlaubt.

Im Fallbeispiel nehmen wir an, dass nicht absehbar ist, wann Brücke oder Strasse ersetzt würden. Grössere Bauarbeiten an der Brücke (mit länger dauernden Verkehrseinschränkungen) finden ungefähr alle 20 Jahre statt; die nächsten sind in ungefähr 10 Jahren zu erwarten.

Bezüglich der Lösungsalternativen, die die Anforderungen erfüllen, sind folgende Rahmenbedingungen (im Sinne von Leitplanken) zu klären:

- Gibt es Normen, die bei der vorliegenden Situation ein bestimmtes Vorgehen fordern oder umgekehrt bestimmte Lösungen (beispielsweise Überbrückungsmassnahmen) verbieten?
- Sind die ins Auge gefassten Typen von Fahrbahnübergängen in der Schweiz zugelassen und normengerecht?

- Können die Lösungsalternativen im Rahmen des vorhandenen Budgets realisiert werden?

Im Fallbeispiel nehmen wir an, dass es keine Normen oder Richtlinien gibt, die ein bestimmtes Vorgehen fordern würden, und dass die ins Auge gefassten Lösungen zugelassen, normengerecht und im Rahmen des vorhandenen Budgets realisierbar sind.

## 6.2.2 Systemgrenze festlegen

Im einfachsten Fall ist die Frage nach der Systemgrenze leicht zu beantworten: Wir betrachten wirklich nur die Fahrbahnübergänge der betreffenden Brücke und sonst nichts. Dennoch sind verschiedene Kontrollfragen zu stellen.

### *Funktionale Aspekte*

- Welche Elemente der Brücke bzw. der Strassenanlage befinden sich in der Nähe? Welche Baumassnahmen für diese Elemente stehen an? Inwiefern können diese Baumassnahmen meinen Entscheid beeinflussen bzw. relevant sein?
- Haben unterschiedliche Typen von Fahrbahnübergängen unterschiedliche Wirkungen auf andere Brückenelemente oder Systeme? Kann es beispielsweise vorkommen, dass sich der Fahrbahnbelag im Bereich des Fahrbahnübergangs schneller abnutzt und häufiger repariert werden muss? Denkbar ist beispielsweise auch, dass der Winterdienst bei bestimmten Typen von Fahrbahnübergängen erschwert ist und dass es hier zu Schäden kommen kann.
- Wenn der Ersatz des Fahrbahnübergangs im Zusammenhang mit anderen Bauarbeiten durchgeführt wird, erschwert oder verzögert er diese?

Im Fallbeispiel nehmen wir wie bereits erwähnt an, dass in 10 Jahren grössere Baumassnahmen an der Brücke nötig sind, mit denen Arbeiten an den Fahrbahnübergängen abgestimmt werden können, und dass solche grösseren Baumassnahmen ungefähr alle 20 Jahre vorkommen. Keine der möglichen Lösungsvarianten hätte Auswirkungen auf andere Brückenelemente. Bauarbeiten an der Brücke würden nicht erschwert oder verzögert, wenn gleichzeitig die Fahrbahnübergänge ersetzt würden.

Auswirkungen auf andere Elemente oder Systeme sind im Fallbeispiel implizit in den Erstellungs- und Unterhaltskosten sowie in der Schadensanfälligkeit berücksichtigt.

### *Räumliche Aspekte*

- Hat die vorgesehene Massnahme logistische oder verkehrliche Folgen im weiteren Strassenverlauf bzw. im Strassennetz?

Im Fallbeispiel nehmen wir an, dass keine der denkbaren Lösungsvarianten logistische oder verkehrliche Folgen im weiteren Strassenverlauf bzw. im Strassennetz haben würde.

### *Prozessbezogene Aspekte*

- Welche Prozesse sind mit der Entscheidung verbunden? (z.B. allg. Ressourcenplanung)
- Welche Prozesse löse ich aus? (z.B. Beschaffung der Ingenieur- und Bauleistungen)
- Welche Prozesse werden durch meine Entscheidung beeinflusst? (z.B. allg. Unterhaltsplanung oder Budgetplanung der nächsten Jahre?)
- Wo gäbe es Synergien? (z.B. Sperrung und Erneuerung zusammen mit Gesamterneuerung der Brücke?)

### *Verantwortlichkeit*

- Ist der Verantwortlichkeits- oder Kompetenzbereich von Relevanz bei Festlegung der Systemgrenze?

*Strategische vs. operative Sichtweise*

- Ist die Tragweite der Entscheidung über die Erneuerung des Fahrbahnübergangs genügend gross, um nicht nur einen lebenszykluskostenminimalen Ersatz des Fahrbahnübergangs anzustreben, sondern die Erneuerung im Kontext des Gesamtobjekts Brücke oder sogar sämtlicher Brücken im Besitz der Gemeinde einzubeziehen?

Wie bereits bei den Anforderungen und Rahmenbedingungen diskutiert, könnten mögliche Synergien genügend gross sein, um die Erweiterung der Systemgrenze auf das Gesamtobjekt Brücke zu rechtfertigen. Eine weitere Ausdehnung auf die strategische Ebene, wie z.B. Synergien der Erneuerung auf allen Brücken auf Gemeindegebiet zukünftig kostenminimal erfolgen könnten, wäre ebenfalls denkbar.

Im Fallbeispiel nehmen wir an, dass sich der Verantwortungsbereich grundsätzlich über das gesamte Gemeindegebiet erstreckt, auf dessen Boden die Brücke liegt. Für die Gemeinde sind insbesondere die Betreiberkosten relevant, da sie diese selbst tragen muss. Betriebserschwerungskosten müssen in der Analyse natürlich auch für Nutzer aus anderen Gebieten berücksichtigt werden. Synergieeffekte, die eine Ausweitung der Systemgrenze auf andere Brücken, andere Brückenelemente, den ganzen Strassenzug oder das ganze Strassennetz empfehlen würden, sind nicht zu erwarten.

### 6.2.3 Lösungsvarianten konkretisieren und gestalten

Lösungsvarianten müssen den Anforderungen und Rahmenbedingungen genügen. Die Anwendung des Life Cycle Costing setzt zudem voraus, dass sich der funktionale Nutzen der betrachteten Lösungsvarianten höchstens geringfügig voneinander unterscheidet (vgl. Kap. 3.2).

Zu den grundsätzlichen Merkmalen gehören:

- Welcher Typ von Fahrbahnübergang kommt für den Ersatz des heutigen Fahrbahnübergangs in Frage?
- Würde auch eine Reparatur des heutigen Fahrbahnübergangs den Anforderungen und Rahmenbedingungen genügen?

Verschiedene Hilfsüberlegungen können diese Fragen beeinflussen, beispielsweise

- Haben wir gute/schlechte Erfahrungen mit einem bestimmten Typ? Können wir die Lebenszykluskosten gut abschätzen?
- Haben wir einen Vertrag mit einem Lieferanten, der einen bestimmten Typ anbietet?
- Haben wir Bauteile, Ersatzteile oder Werkzeug für einen bestimmten Typ, so dass wir hier nichts Neues beschaffen müssen?
- Sind unsere Mitarbeiter im Unterhalt eines bestimmten Typs geschult, oder müssen wir neue Unterhaltsprozesse einführen?

Im Fallbeispiel gehen wir von zwei möglichen Typen von Fahrbahnübergängen aus:

- Typ 1 ist günstig in der Erstellung; seine Komponenten haben aber eine relativ kurze Lebensdauer, die Kosten des (präventiven) betrieblichen Unterhalts sind relativ hoch und die Anfälligkeit für Schäden ist relativ gross.
- Typ 2 ist teuer in der Erstellung; seine Komponenten haben aber eine längere Lebensdauer, die Kosten des (präventiven) betrieblichen Unterhalts sind relativ niedrig und die Anfälligkeit für Schäden ist gering.

Dann ist die Ausführung des Ersatzes zu beschreiben:

- Wann soll die Massnahme stattfinden?
- Wie lange dauert die Massnahme?
- In welche Verkehrszeit fällt die Massnahme?
- Wie wird der Verkehr während der Massnahme geführt? Wie gross ist die Verkehrsbehinderung (z.B. der Fahrzeitverlust aufgrund der Baustelle)?

Im Fallbeispiel gehen wir von zwei Handlungsalternativen aus:

- Ersatz der bestehenden Fahrbahnübergänge sofort, oder
- zunächst eine Überbrückungsmassnahme realisieren und den eigentlichen Ersatz der Fahrbahnübergänge erst in 10 Jahren zusammen mit der dann stattfindenden umfassenden Baumassnahme vornehmen.

Vorteil der zweiten Handlungsalternative ist, dass sich so die Baustellenkosten für Betreiber und Verkehrsteilnehmer zusammenfassen und damit insgesamt verringern lassen. Nachteil sind die speziellen Kosten für die Überbrückungsmassnahme und, dass man 10 Jahre lang noch mit häufigen Schäden und hohen Kosten für präventiven betrieblichen Unterhalt rechnen muss.

Zusammen mit den beiden möglichen FBÜ-Typen betrachten wir also vier Varianten:

- V1 = Typ 1 sofort
- V2 = Typ 2 sofort
- Z1 = Typ 1 in 10 Jahren, Überbrückungsmassnahme sofort
- Z2 = Typ 2 in 10 Jahren, Überbrückungsmassnahme sofort

Wir nehmen an, dass der Verkehr erst auf der einen, dann auf der anderen Richtungsfahrbahn beschränkt wird. Die Dauer der Verkehrsbeschränkung beträgt pro Richtungsfahrbahn

- bei Typ 1 5 Tage
- bei Typ 2 7 Tage
- bei einer Überbrückungsmassnahme 5 Tage

Die Verkehrsteilnehmer werden hauptsächlich durch Fahrzeitverluste während der Verkehrsbeschränkung betroffen. Die durchschnittliche Geschwindigkeit sinkt bei Ausführung „heute“ von 70 km/h auf 40 km/h. Mit dem zunehmendem Verkehr (s.o.) würde der Geschwindigkeitsverlust mit jedem Jahr grösser.

Wir nehmen an, der Beschränkungsabschnitt ist 2 km lang. Dann beträgt der durchschnittliche Fahrzeitverlust für jeden Verkehrsteilnehmer „heute“ knapp 1,3 Minuten. Dabei ist zu bedenken, dass der Fahrzeitverlust für einige Verkehrsteilnehmer wegen Staus sehr gross sein kann, während andere kaum betroffen sind.

Die Betriebsphase ist im Hinblick auf die Lebenszykluskosten für die verschiedenen Lösungsvarianten hinsichtlich folgender Fragen zu beschreiben:

*Wartungshäufigkeit:*

- Wie häufig müssen der Fahrbahnübergang bzw. seine Komponenten inspiziert und gewartet werden?
- Zu welchen Verkehrsbehinderungen kann es dabei kommen?
- Wie entwickelt sich der Wartungsaufwand über die Zeit, mit zunehmendem Verkehr und zunehmendem Alter des Fahrbahnübergangs?

Im Fallbeispiel gehen wir davon aus, dass die Fahrbahnübergänge regelmässig inspiziert und gewartet werden müssen. Das findet jeweils statt

- bei Typ 1 zweimal pro Jahr
- bei Typ 2 einmal pro Jahr
- nach einer Überbrückungsmassnahme, bis zum Ersatz des Fahrbahnübergangs, dreimal pro Jahr

Inspektion und Wartung werden pro Richtungsfahrbahn jeweils an einem Tag durchgeführt. Für die Verkehrsbeschränkung gilt dasselbe wie oben: 2 km langer Beschränkungsabschnitt, Geschwindigkeitsreduktion „heute“ von 70 km/h auf 40 km/h, grösser mit zunehmendem Verkehr.

Wir nehmen an, dass Aufwand und Betreiberkosten für die präventive Wartung grundsätzlich konstant bleiben. Nur die Nutzerkosten steigen, weil der Verkehr und der Geschwindigkeitsverlust zunehmen.

*Anfälligkeit:*

- Ist damit zu rechnen, dass Komponenten des Fahrbahnübergangs unerwartet versagen?
- Würde dadurch die Verkehrssicherheit gefährdet? Mit welchen potenziellen Folgen?
- Welche Folgen hätte das für die Benutzbarkeit der Brücke?
- Wie lange würde die Reparatur dauern? Wann wäre die uneingeschränkte Benutzbarkeit der Brücke wieder hergestellt?
- Welche Vorkehrungen (Redundanz, Reparaturorganisation, Ersatzteilhaltung o.ä.) wären denkbar, um Versagen von Komponenten zu vermeiden oder möglichst rasch zu reparieren?
- Wie entwickelt sich die Anfälligkeit über die Zeit, mit zunehmendem Verkehr und zunehmendem Alter des Fahrbahnübergangs?

Im Fallbeispiel gehen wir davon aus, dass ein Schaden entweder an den Fahrbahnübergängen oder bedingt durch die Fahrbahnübergänge an anderen Elementen unmittelbar nach einer Massnahme ungefähr mit folgender Häufigkeit auftritt:

- bei Typ 1 durchschnittlich alle 6 Jahre
- bei Typ 2 durchschnittlich alle 15 Jahre
- nach einer Überbrückungsmassnahme, bis zum Ersatz des Fahrbahnübergangs, durchschnittlich jedes Jahr (1 Schaden pro Jahr)

Die Verkehrssicherheit würde dadurch nicht gefährdet – siehe auch den Hinweis unten.

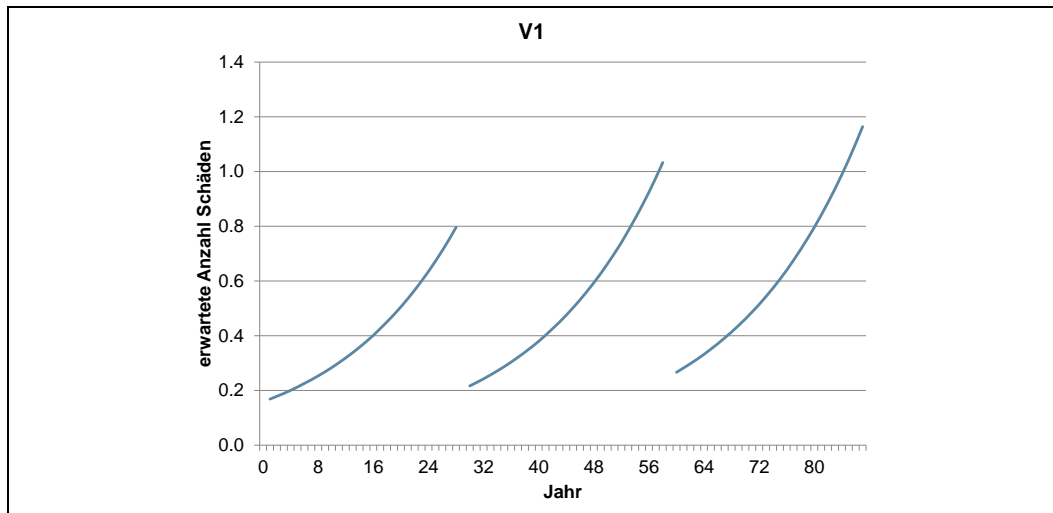
Wir nehmen an, dass von der Entdeckung bis zur Behebung eines Schadens im Durchschnitt 2 Tage vergehen; in dieser Zeit wird der Verkehr beschränkt. Für die Verkehrsbeschränkung gilt dasselbe wie oben: 2 km langer Beschränkungsabschnitt, Geschwindigkeitsreduktion „heute“ von 70 km/h auf 40 km/h, grösser mit zunehmendem Verkehr.

Vorkehrungen zur Vermeidung von Schäden sind implizit in den Erstellungskosten und in den Kosten für den präventiven betrieblichen Unterhalt berücksichtigt.

Aufgrund des mittleren Ausfallrhythmus beträgt das jährliche Schadensrisiko (die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Schaden kommt) unmittelbar nach einem vollständigen Ersatz der Fahrbahnübergänge

- bei Typ 1:  $1/6 = \text{rund } 17\%$
- bei Typ 2:  $1/15 = \text{rund } 7\%$
- bei einer Überbrückungsmassnahme:  $1/1 = 100\%$

Bis zum nächsten vollständigen Ersatz des Fahrbahnübergangs nimmt der Erwartungswert des jährlichen Schadensrisikos alterungsbedingt jeweils um 5% pro Jahr zu (bei Typ 1 im zweiten Jahr nach deren Realisierung also von rund 17% auf rund 18%). Der zunehmende Verkehr vergrössert das Schadensrisiko ebenfalls. Im Modell wird das dadurch berücksichtigt, dass wir auf das prozentuale Schadensrisiko einen Faktor  $DTV_t / DTV_0$  anwenden. Beträgt der DTV im zweiten Jahr nach Realisierung der Massnahme 6'000, wenden wir also den Faktor  $6'000 / 5'000 = 1,2$  an, und der Prozentsatz beträgt statt 18% 21%. In der folgenden Abbildung ist die Entwicklung des Schadensrisikos beispielhaft für die Variante 1 dargestellt, bei der Gesamterneuerungen der Fahrbahnübergänge in den Jahren 0, 29 und 59 vorgesehen sind (vgl. nachfolgender grauer Kasten).



**Abb. 6-3:** Fallbeispiel: Entwicklung des Erwartungswerts jährlicher Schäden am Beispiel von Variante 1. Der Erwartungswert wird durch Erneuerungsmassnahmen jeweils wieder auf den Ausgangswert zurückgesetzt. Dieser Ausgangswert steigt mit zunehmendem Verkehr.

*Bauliche Erhaltungsmassnahmen, Werterhaltung:*

- Welche grösseren baulichen Erhaltungsmassnahmen sind bei gegebener Verkehrsentwicklung und gegebener Projektumgebung wann zu erwarten?
- Zu welchen Verkehrsbehinderungen kann es dabei kommen?

*Lebensdauer:*

- Wann ist bei gegebener Verkehrsentwicklung und gegebener Projektumgebung damit zu rechnen, dass der Fahrbahnübergang wieder ersetzt werden muss?

Im Fallbeispiel gehen wir davon aus, dass folgende Ersatzmassnahmen nötig sind:

- Ersatz der Dichtprofile unter dem Fahrbahnübergang
  - bei Typ 1 alle 15 Jahre
  - bei Typ 2 alle 20 Jahre
- Ersatz des gesamten Fahrbahnübergangs
  - bei Typ 1 alle 30 Jahre
  - bei Typ 2 alle 40 Jahre

Innerhalb dieses Erneuerungsrhythmus ist ein Vorziehen oder Hinauszögern der jeweiligen Massnahme um ein Jahr problemlos möglich, wenn so Synergien ausgenutzt werden können (z.B. Realisierung zusammen mit anderen Massnahmen an der Brücke oder deren Fahrbahn).

**Hinweis:** *Wartung, Erhaltung und Ersatz sind so zu definieren, dass ein Versagen der Anlage bzw. des Elements mit katastrophalen Folgen für Nutzbarkeit und insbesondere für Leib und Leben von Nutzern und Dritten mit grösstmöglicher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann (= Anforderung, welche im Kontext von Kapitel 6.2.1 definiert wird). Kosten solcher Katastrophen sollen nicht in die Beurteilung der Lebenszykluskosten eingehen.*

*Eingriffe während des Betriebs:*

- Kann es vorkommen, dass der Fahrbahnübergang oder Teile davon während des Betriebs aufgrund von anderen Arbeiten an der Brücke temporär aus- und wieder eingebaut werden muss?

- Wenn ja, wie wahrscheinlich ist das oder wie häufig würde das im Betrachtungszeitraum vorkommen?
- Wie einfach oder kompliziert ist das?
- Würde das Einfluss auf die Lebensdauer des Fahrbahnübergangs oder seiner Komponenten haben?

Im Fallbeispiel nehmen wir an, dass die Fahrbahnübergänge wegen anderer Arbeiten nicht aus- und eingebaut werden müssen.

Schliesslich ist zu beschreiben, welche Massnahmen für das Entfernen und Entsorgen des Fahrbahnübergangs am Ende der Lebensdauer bzw. des Betrachtungszeitraums nötig sind und welcher Restwert sich allenfalls erzielen lässt.

Im Fallbeispiel nehmen wir an, dass der Aufwand für das Entfernen und Entsorgen der Fahrbahnübergänge implizit in den Erneuerungskosten enthalten ist. Nur am Ende des Betrachtungszeitraums werden die Rückbaukosten gesondert betrachtet. Dabei gilt: Die Rückbaukosten sind bei Typ 2 höher als bei Typ 1 (vgl. **Abb. 6-6**).

Hinsichtlich der Kostengestaltung stehen Fragen im Raum wie

*Economies of scale, Systemvereinheitlichung:*

- Beschaffungsausweitung, Vergrösserung der Bestellmengen, Investition in einheitliche Systeme:
- Gibt es andere Brücken in unserem Portfolio, bei denen die Fahrbahnübergänge in absehbarer Zeit ersetzt werden müssen?
- Lohnt es sich allenfalls sogar, den Ersatz von Fahrbahnübergängen anderer Brücken vorzuziehen, selbst wenn diese noch nicht am Ende ihrer Lebensdauer angekommen sind, um von economies of scale oder den Einsparungen aus dem Betrieb einheitlicher Systeme zu profitieren?

*Ausnutzen von Synergien:*

- Sind in absehbarer Zeit andere Arbeiten an der Strasse/Brücke nötig, mit denen der Einbau der neuen Fahrbahnübergänge kombiniert werden kann?
- Lassen sich Inspektion und Wartung der Fahrbahnübergänge mit anderen Arbeiten koordinieren?
- Eröffnet die Investition in neue Fahrbahnübergänge neue Möglichkeiten, die Lebenszykluskosten anderer Elemente zu senken?
- Umgekehrt natürlich auch: Würde die Wahl einer Lösungsvariante dazu führen, dass Betrieb, Wartung oder Ersatz anderer Brücken- oder Strassenelemente schwieriger und teurer würden?

*Optimierung der Wartungs- und Erhaltungsstrategie:*

- Wieviel Störungs- bzw. Versagensrisiko kann man – soweit sie sich im Rahmen der unter Kapitel 6.2.1 definierten Anforderungen bewegen – in Kauf nehmen?
- Gibt es einen optimalen „Trade off“ zwischen präventivem und korrektivem Unterhalt?
- Wann ist der LZK-minimale Erhaltungs- oder Ersatzzeitpunkt (zusätzliche Investitionskosten geringer als eingesparte Betriebs- und Reparaturkosten)?

*Allenfalls: technische Entwicklung:*

- Lohnt es sich, in technische Entwicklung zu investieren, um eine Lösung zu verbessern und tiefere Lebenszykluskosten zu erzielen?

Im Fallbeispiel werden die Fragen bezüglich Economies of scale, Systemvereinheitlichung und technischer Entwicklung vereinfachend nicht einbezogen.

## 6.2.4 Betrachtungszeitraum festlegen

Wir empfehlen für LZK-Berechnungen grundsätzlich, einen einheitlichen, endlichen Betrachtungszeitraum festzulegen und innerhalb dieses Betrachtungszeitraums Kostenströme zu analysieren. Dies im Gegensatz zu einer Methode, bei der nur Annuitäten betrachtet werden (vgl. Kapitel 5.2.4 ff.). Wie im Kapitel 5.2.4 gezeigt, ist die Annuitätenmethode (Rentenbarwertmethode) problematisch, da sie einen unendlichen Betrachtungszeitraum impliziert, in dem sich die Rahmenbedingungen nicht ändern. Wir halten es deshalb für empfehlenswert, Kostenströme Jahr für Jahr über einen endlichen Betrachtungszeitraum zu modellieren.

Die Festlegung des Betrachtungszeitraums ist einfach, wenn die Nutzungsdauer der Brücke absehbar und beschränkt ist. Wenn damit zu rechnen ist, dass die Brücke in dreissig Jahren ersetzt wird, beträgt der Betrachtungszeitraum dreissig Jahre. Am Ende dieser dreissig Jahre haben die Fahrbahnübergänge keinen Wert mehr, es sei denn, sie können ausgebaut und wieder verwendet werden oder das Altmaterial hat einen nennenswerten Schrottwert.

Ist das Ende der Nutzungsdauer für die Brücke nicht absehbar, ist der Betrachtungszeitraum nach folgenden Gesichtspunkten festzulegen:

- Der Betrachtungszeitraum sollte mindestens der Lebensdauer des langlebigsten Fahrbahnübergangstyps (bzw. seiner langlebigsten Komponente) entsprechen (vgl. Kapitel 5.3.1).
- Wie in Kapitel 5.3.2 dargelegt, sollte der Betrachtungszeitraum möglichst einem gemeinsamen Vielfachen der Lebensdauer von unterschiedlichen Fahrbahnübergangstypen entsprechen. Es sollte möglichst keine Variante geben, bei der ein Ersatz des Fahrbahnübergangs kurz vor Ende des Betrachtungszeitraums erfolgen muss. Mühsame und zweifelhafte Restwertdiskussionen sind wenn immer möglich zu vermeiden.
- Der Betrachtungszeitraum sollte lang genug sein, damit man bei jeder Variante am Ende die Kosten für das Entfernen des Fahrbahnübergangs in die LZK-Rechnung einsetzen kann. Bei einem genügend langen Betrachtungszeitraum ist gewährleistet, dass die LZK-Rechnung nicht allzu sehr verzerrt wird, wenn bei einer Variante das Ende der Lebensdauer noch nicht erreicht ist.

Wie bereits dargelegt, gehen wir im Fallbeispiel von Änderungen am System (z.B. zunehmende Schadensrisiken) und der Umgebung (Verkehrszunahme) aus. In diesem Fall lassen sich die Lebenszykluskosten am besten darstellen und analysieren, wenn man die effektiven Kostenströme und keine durchschnittliche Annuität betrachtet.

In der folgenden Abbildung sind die Erhaltungsstrategien für die vier Varianten unter Berücksichtigung der jeweiligen Lebensdauern dargestellt. Die Möglichkeit, eine Massnahme um ein Jahr zu verschieben, um sie zusammen mit einer grösseren Brückenerneuerung zu realisieren, wird dabei ausgenutzt.

Da ein Ende der Nutzungsdauer für die Brücke bzw. den Strassenzug nicht absehbar ist, stellt sich im Fallbeispiel ein Betrachtungszeitraum von 89 Jahren als ideal heraus. Am Ende dieses Zeitraums sind zwei Varianten definitiv am Ende eines Lebenszyklus angekommen. Variante 2 (FBÜ-Ersatz mit Typ 2 „heute“) müsste zwar kurz vorher erneuert werden, aber dafür könnte man wiederum eine Überbrückungsmassnahme definieren, so dass man am Ende von Jahr 88 ebenfalls am Ende eines Lebenszyklus angekommen wäre.

Einzig Variante Z1 (FBÜ-Ersatz mit Typ 1 in 10 Jahren) hätte am Ende von Jahr 88 noch eine Restlebensdauer von 10 Jahren. Der entsprechende Restwert wäre aber gering und würde in der Barwertbetrachtung bei einem Diskontsatz von 2% nur noch zu einem Sechstel berücksichtigt.

Wir legen für das Fallbeispiel deshalb einen Betrachtungszeitraum von 89 Jahren fest. Am Ende des Betrachtungszeitraums nehmen wir jeweils Rückbaukosten an. Ein Restwert ist nicht zu berücksichtigen.



Erhaltungsstrategie	Jahr	Variante 1	Variante 2	Zuwart 1	Zuwart 2
	0	Ersatz FBÜ (Typ1)	Ersatz FBÜ (Typ2)	Überbrückungsmassn.	Überbrückungsmassn.
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
allg. Brückenerneuerung	9			Ersatz FBÜ (Typ 1)	Ersatz FBÜ (Typ 2)
	10				
	11				
	12				
	13				
	14				
	15	Ersatz Dichtung			
	16				
	17				
	18				
	19				
	20		Ersatz Dichtung		
	21				
	22				
	23				
	24			Ersatz Dichtung	
	25				
	26				
	27				
	28				
allg. Brückenerneuerung	29	Ersatz FBÜ			Ersatz Dichtung
	30				
	31				
	32				
	33				
	34				
	35				
	36				
	37				
	38			Ersatz FBÜ	
	39		Ersatz FBÜ		
	40				
	41				
	42				
	43				
	44	Ersatz Dichtung			
	45				
	46				
	47				
	48				(Ersatz FBÜ)
allg. Brückenerneuerung	49				Ersatz FBÜ
	50				
	51				
	52				
	53			Ersatz Dichtung	
	54				
	55				
	56				
	57				
	58				
	59	Ersatz FBÜ	Ersatz Dichtung		
	60				
	61				
	62				
	63				
	64				
	65				
	66				
	67				
	68			(Ersatz FBÜ)	(Ersatz Dichtung)
allg. Brückenerneuerung	69			Ersatz FBÜ	Ersatz Dichtung
	70				
	71				
	72				
	73				
	74	Ersatz Dichtung			
	75				
	76				
	77				
	78				
	79		Überbrückungsmassn.		
	80				
	81				
	82				
	83			Ersatz Dichtung	
	84				
	85				
	86				
	87				
	88	(Ersatz FBÜ)			(Ersatz FBÜ)
allg. Brückenerneuerung	89	Ersatz FBÜ			Ersatz FBÜ
					Rückbau

Abb. 6-4: Fallbeispiel: Erhaltungsstrategie in den vier betrachteten Varianten für den Ersatz von Fahrbahnübergängen

### 6.2.5 Kostenmodell entwickeln

Wie schon erwähnt, sind die Lebenszykluskosten in unserem Beispiel als Barwert des Ausgaben- bzw. Kostenstroms über einen einheitlichen Betrachtungszeitraum definiert (der Barwert gilt für das erste Jahr des Betrachtungszeitraums, t=0):

$$LZK_i = \sum_{t=0}^T \frac{K_{i,t}}{(1+r)^t}$$

- i betrachtete Lösungsvariante
- t Jahr
- K<sub>i,t</sub> Kosten bei Lösung i im Jahr t
- 0 – T Betrachtungszeitraum
- r Diskontsatz

Entsprechend der Kostensystematik (vgl. Kapitel 3.3) sind grundsätzlich folgende Kosten zu betrachten:

Phase		Kostenarten und Kostentatbestände	In den LZK berücksichtigen?
ENTWICKLUNG UND ERSTELLUNG	Entwicklung, Planung, Projektierung	Strategische Planung : - Bedürfnisformulierung - Lösungsstrategien  Vorstudien : - Projektdefinition - Machbarkeitsstudien - Auswahlverfahren für Projektierungsarbeiten  Forschung und Entwicklung LZK-Analyse, KNA  Projektierung : - Vorprojekt - Bauprojekt - Bewilligungsverfahren / Auflageprojekt  Abklärungen / Koordination mit Behörden, Anrainern  Partizipative Verfahren  Projektmanagement, allg. Projektadministration	Nein   Nein Nur, wenn lösungsspezifisch nötig Nur, wenn lösungsspezifisch unterschiedlich  Nur, wenn lösungsspezifisch nötig  Nein  Nur, wenn lösungsspezifisch unterschiedlich   Nur, wenn lösungsspezifisch unterschiedlich  Nur, wenn lösungsspezifisch unterschiedlich  Nur, wenn lösungsspezifisch unterschiedlich
	Erstellung (Ausschreibung und Realisierung)	Projektmanagement, Bauleitung, allg. Projektadministration  Ausschreibung und Vergabe  <i>Realisierung :</i> Vorbereitungskosten : - Untersuchung, Aufnahme, Messung (BKP-T: L1) - Baustelleneinrichtung (L2) - Provisorium (inkl. Verkehrsmanagement) (L3) - Rückbau, Entsorgung Bauwerk (L4) - Wiederherstellung, Schadensbehebung (L5) - Gerüste (L6)  Materialkosten (Kauf oder Eigenfabrikation, inkl. Zubehör)	Ja  Nur, wenn lösungsspezifisch unterschiedlich  Ja (soweit relevant)         Ja <b>Achtung ! Regeln für die Ersatzteilhaltung festlegen und allenfalls hier Initialkosten berücksichtigen</b>

Phase	Kostenarten und Kostentatbestände	In den LZK berücksichtigen?
	Software (Beschaffungskosten)  Baumassnahmen, Montage, Installation Nebenkosten: - Bewilligung, Gebühren (BKP-T: W1) - Versicherung, Garantie (W2) - Kapitalkosten (W3) - Öffentlichkeitsarbeit, Entschädigungen, Bewachung (W4)  Fahrzeitverluste im Baustellenbereich Unfallkosten aufgrund der Baustelle Belastungen Dritter durch die Baustelle (Lärm, Schadstoffe)	an sich ja, auch Teil der Investitionskosten, im Fallbeispiel kaum relevant  Ja Ja (soweit relevant)  Ja Ja Ja
	Inbetriebnahme  Betriebsvorbereitung, Werkzeug Migrationskosten Tests Abnahme und Inbetriebsetzung Ausbildung, Schulung, Coaching Nachkontrolle, Nacharbeiten	Ja
BETRIEB, NUTZUNG, ERHALTUNG <sup>6</sup>	Betrieblicher Unterhalt  Objektbewirtschaftung (Daten, Dokumentenmanagement, Versicherung) Allg. Verwaltungskosten, „Overhead“ Arbeitsvorbereitung  Grünpflege (inkl. Entsorgung) Winterdienst Wartung, Pflege, Reinigung  Inspektionen, Kontrolle Kleine bauliche Reparaturen Energie und Medien Raumkosten Software (wiederkehrende Lizenzgebühren, Support)  Polizeiliche Verkehrsregelung und -überwachung Ersatzteilbewirtschaftung (inkl. Beschaffungskosten)  Störungen, Störfälle: - Überwachungskosten, Störfallmanagement - Kosten für Pikettdienste - Alarmierungs-, Rettungs- und Schadenwehrkosten, Warnkosten - Kosten der Störfallbehebung - Kosten während Störfallbehebung (Verkehrsdienst, ...) - Kosten der Wiederinbetriebnahme Sonstige, oben nicht aufgeführte Kosten Fahrzeitverluste, Unfallkosten, Kosten Dritter bei betrieblichem Unterhalt und bei Störfällen/Nichtverfügbarkeit	Ja, falls lösungsspezifischer Kostentreiber Nein Nur, wenn lösungsspezifisch unterschiedlich im Fallbeispiel kaum relevant im Fallbeispiel kaum relevant <b>Ja – prüfen, wie sich die Kosten im Betrachtungszeitraum entwickeln !</b> Ja Ja im Fallbeispiel nicht relevant im Fallbeispiel nicht relevant an sich ja, auch Teil der Betriebskosten, im Fallbeispiel kaum relevant Nur, wenn lösungsspezifisch unterschiedlich <b>Ja, Achtung : allgemeine Regel definieren, wie die Ersatzteilhaltung zu berücksichtigen ist !</b> Ja  Nur, wenn lösungsspezifisch nötig Ja

<sup>6</sup> Phase 6 gemäss SIA 112 (61: Betrieb, 62: Erhaltung)

Phase		Kostenarten und Kostentatbestände	In den LZK berücksichtigen?
	Baulicher Unterhalt	Über den normalen Instandhaltungsrahmen hinausgehende Kosten zur Verlängerung der Lebensdauer, ohne Ersatz Revisionen und andere lebensverlängernde Massnahmen Softwareupdates (inkl. Nachschulung)  Fahrzeitverluste, Unfallkosten, Kosten Dritter bei Bauarbeiten	Ja  Ja Ja  Ja
	Erneuerung, Ausbau	Erneuerungen, Modernisierungen Ersatzinvestitionen Software : Kompletterneuerung, Ersatz (inkl. Migrations-, Schulungskosten) Fahrzeitverluste, Unfallkosten, Kosten Dritter bei Bauarbeiten	Ja, <b>Zeitpunkt lösungsspezifisch festlegen bzw. modellieren !</b>  im Fallbeispiel nicht relevant Ja
AUSSERBETRIEBNAHME, RÜCKBAU	Rückbau	Planungskosten für Rückbau und Entsorgung Bewilligungen, Gebühren  Baustellenvorbereitung Ausserbetriebsetzung, Stilllegung Abbruch, Rückbau, Demontage, Logistik Ersatzmassnahmen während Überbrückung Zwischenlagerung, Entsorgung, Recycling Dekontaminierung, Wiederherstellung Umgebung, Renaturierung Restwert, Schrottwert Verkaufskosten oder Umnutzungskosten Umschulungen, Sozialplan bei Entlassungen Sonstige (flankierende) Massnahmen Kosten Dritter aufgrund des Rückbaus	Nein  Nur, wenn lösungsspezifisch unterschiedlich Ja Ja Ja Ja Ja Ja Ja Ja im Fallbeispiel nicht relevant Ja Nur, wenn lösungsspezifisch relevant

**Abb. 6-5:** Bei LCC zu berücksichtigende Kostenarten

Die Herausforderungen bestehen darin,

- die relevanten Kosten richtig abzuschätzen
- den Zeitpunkt des Kostenanfalls bzw. die zeitliche Verteilung der Kosten richtig vorherzusagen
- Kostenentwicklungen in der Betriebsphase richtig zu modellieren (Instandhaltungskosten, Schadensrisiko)
- eine für alle Lösungsvarianten im Betrachtungszeitraum verbindliche Werterhaltungsstrategie zu definieren, so dass keine Variante aufgrund zu hoher oder zu tiefer Wertehaltungskosten im Vor- oder Nachteil ist; dabei ist darauf zu achten, dass die Grundfunktionalität der betrachteten Anlage immer vergleichbar ist.

In den folgenden Tabellen sind die wesentlichen Parameter des Kostenmodells für das Fallbeispiel dargestellt. Nochmals: **Alle Werte sind fiktiv und lassen sich nicht auf wirkliche Produkte oder Lösungen beziehen.**

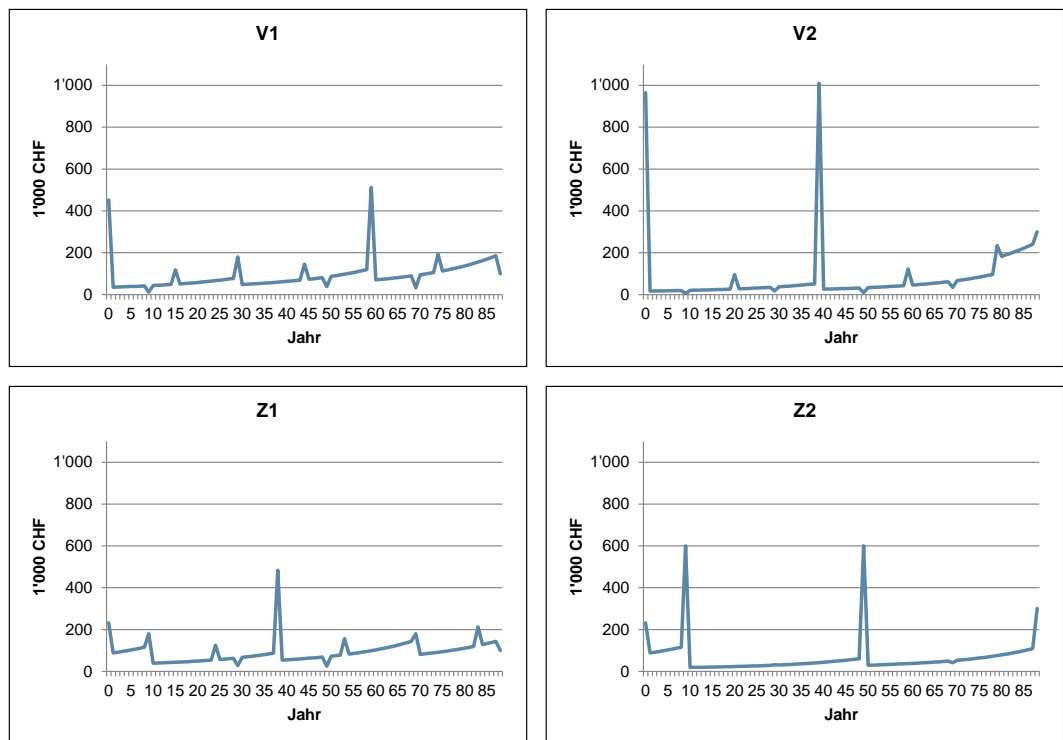
	Fahrbahn- übergang Typ 1	Fahrbahn- übergang Typ 2	Über- brückungs- massn. 1	Über- brückungs- massn. 2	Ersatz Dichtprofile
<b>Ersatz, Erneuerung</b>					
Massnahmenkosten, CHF					
- als Einzelmassnahme	420'000	920'000	200'000	100'000	60'000
- zusammen mit umfassender Brückenmassnahme	180'000	600'000	-	-	20'000
- Rückbaukosten als Einzelmassnahme	100'000	300'000	-	-	-
Dauer Verkehrsbeschränkung pro Fahrbahn, Tage	5	7	5	5	1
<b>betriebllicher Unterhalt</b>					
Inspektion und Wartung, Ø CHF pro Jahr	15'000	7'500	25'000	25'000	-
Interventionstage pro Jahr, je Richtungsfahrbahn	2	1	3	3	-
Kosten pro Reparatur aufgrund von Schäden, CHF	30'000	30'000	30'000	15'000	-
erwartete Schadenhäufigkeit, alle ... Jahre	6	15	3	1	-
Schadensrisiko pro Jahr, unmittelbar nach Erneuerung der FBÜ	1/6	1/15	1/3	1/1	-
Zunahme des Schadensrisikos pro Jahr bis zur nächsten Erneuerung	5% x DTV <sub>t</sub> / DTV <sub>0</sub>	5% x DTV <sub>t</sub> / DTV <sub>0</sub>	5% x DTV <sub>t</sub> / DTV <sub>0</sub>	5% x DTV <sub>t</sub> / DTV <sub>0</sub>	-
Verkehrsbeschränkung pro Reparatur, Tage pro Fahrbahn	2	2	2	1	-
<b>Lebensdauer</b>					
Dichtprofile	15	20	-	-	-
Gesamtsystem	30	40	-	-	-
<b>weitere Parameter</b>					
DTV pro Richtungsfahrbahn, Fahrzeuge, Jahr 0					5'000
jährliche Zunahme DTV um ... Fahrzeuge pro Jahr					50
Besetzungsgrad, Personen pro Fahrzeug					1,2
Länge des Abschnitts mit Verkehrsbeschränkungen, km					2
Ø Geschwindigkeitsreduktion aufgrund von Verkehrsbeschränkungen, km/h, Jahr 0					von 70 auf 40
jährliche Zunahme der Geschwindigkeitsreduktion aufgrund Verkehrszunahme, %					0,5%
Kosten von Zeitverlusten pro Person, CHF/h (SN 641 822a, gerundet, Annahme dass konstant)					25
Diskontsatz (SN 641 821)					2%

**Abb. 6-6:** Fallbeispiele: Parameter Kostenmodell

Zwei weitere Regeln gelten für das Kostenmodell im Fallbeispiel:

- Bei Realisierung einer Massnahme an den Fahrbahnübergängen im Kontext einer grösseren Baumassnahme werden die Kosten für Baustelleneinrichtung und Signalisation sowie die Betriebserschwerungskosten für die Verkehrsteilnehmer den Fahrbahnübergängen nicht angerechnet.
- In Jahren mit grösseren Baumassnahmen an der Brücke werden die Kosten für Inspektion und Wartung der Fahrbahnübergänge einschliesslich der mit ihnen verbundenen Betriebserschwerungskosten für die Verkehrsteilnehmer nicht den Fahrbahnübergängen zugerechnet.

Anhand der oben definierten Regeln und Parameter und zusammen mit den in **Abb. 6-4** dargestellten Erhaltungsstrategien lassen sich folgende Kostenströme modellieren:



**Abb. 6-7:** Kostenströme der Varianten im Fallbeispiel

Bei Variante V1 (sofortiger Ersatz der Fahrbahnübergänge mit Typ 1) gilt folgendes:

- In den Jahren 0 und 59 sind zwei ausgeprägte Kostenspitzen zu beobachten (Erstellungs- und Gesamterneuerungskosten der Fahrbahnübergänge).
- Die Gesamterneuerung im Jahr 29 kann zusammen mit einer grösseren Baumassnahme realisiert werden, wodurch die Kosten für Baustelleneinrichtung, Signalisation und Betriebserschwernisse (Nutzerkosten) speziell für den Ersatz der Fahrbahnübergänge entfallen; entsprechend ist die Kostenspitze weniger ausgeprägt.
- Kleinere Kostenspitzen sind in den Jahren 14, 44 und 74 für das Auswechseln der Dichtprofile zu beobachten.
- In den Jahren 9, 49 und 69 entfallen Inspektions- und Wartungskosten, die dann im Rahmen von grösseren Baumassnahmen durchgeführt werden; deshalb die kleinen Zacken in der Kostenkurve nach unten.

Bei Variante V2 (sofortiger Ersatz der Fahrbahnübergänge mit Typ 2) gilt:

- Ausgeprägte Kostenspitzen für die Erstellung und Gesamterneuerung der Fahrbahnübergänge in den Jahren 0 und 39.
- Kleinere Kostenspitzen für das Auswechseln der Dichtprofile in den Jahren 19 und 59.

- Überbrückungsmassnahme 10 Jahre vor Ende der Lebensdauer; dadurch bleiben dann relativ grosse Schadensrisiken mit entsprechend hohen Kosten für den betrieblichen Unterhalt bestehen.
- Relativ hohe Rückbaukosten am Ende des Betrachtungszeitraums.

Bei Variante Z1 (Ersatz der Fahrbahnübergänge mit Typ 1 in 10 Jahren, vorher Überbrückungsmassnahme) gilt:

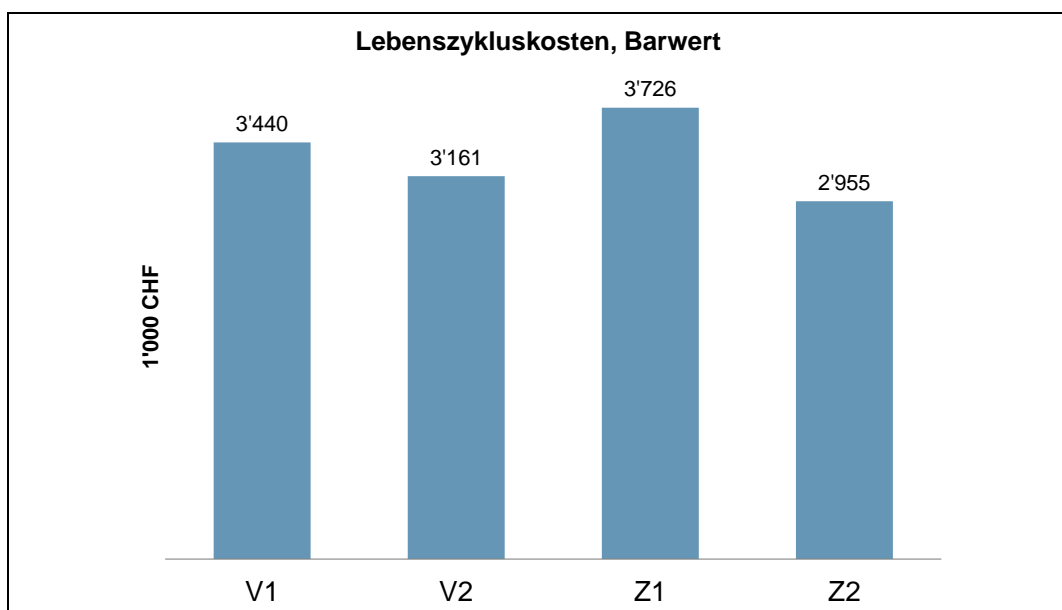
- Nur noch eine ausgeprägte Kostenspitze für die Gesamterneuerung der Fahrbahnübergänge im Jahr 38. Die Erstellung und Gesamterneuerung in den Jahren 9 und 69 kann mit anderen Baumassnahmen koordiniert werden und ist deshalb billiger.
- Kosten der Überbrückungsmassnahme im Jahr 0 und danach vorerst vergleichsweise hohe Kosten des betrieblichen Unterhalts.

Bei Variante Z2 (Ersatz der Fahrbahnübergänge mit Typ 2 in 10 Jahren, vorher Überbrückungsmassnahme) gilt:

- Wie bei Z1, Kosten der Überbrückungsmassnahme im Jahr 0 und danach vorerst vergleichsweise hohe Kosten des betrieblichen Unterhalts.
- Sämtliche Erstellungs- und Erneuerungsmassnahmen können mit allgemeinen Baumassnahmen an Brücke und Strasse abgestimmt werden; die beiden Kostenspitzen für die Erstellung und Gesamterneuerung in den Jahren 9 und 49 sind weniger ausgeprägt als die Kostenspitzen bei Variante V2, und die kleinen Kostenspitzen für die Erneuerung der Dichtprofile werden durch die entfallenden Inspektions- und Wartungskosten kompensiert.

In der folgenden Abbildung wird deutlich, dass Variante Z2 im Fallbeispiel die tiefsten Lebenszykluskosten hat. Das heisst:

- Fahrbahnübergänge vom Typ 2 sind trotz der höheren Investitionskosten den Fahrbahnübergängen vom Typ 1 vorzuziehen, da sie eine längere Lebensdauer haben und robuster sind.
- Es lohnt sich, mit dem Ersatz der Fahrbahnübergänge noch zu warten und vorerst eine relativ schlechte Überbrückungsvariante in Kauf zu nehmen, um in 10 Jahren und danach die Synergievorteile der Realisierung im Kontext von grösseren Baumassnahmen an Brücke und Strasse auszunutzen.



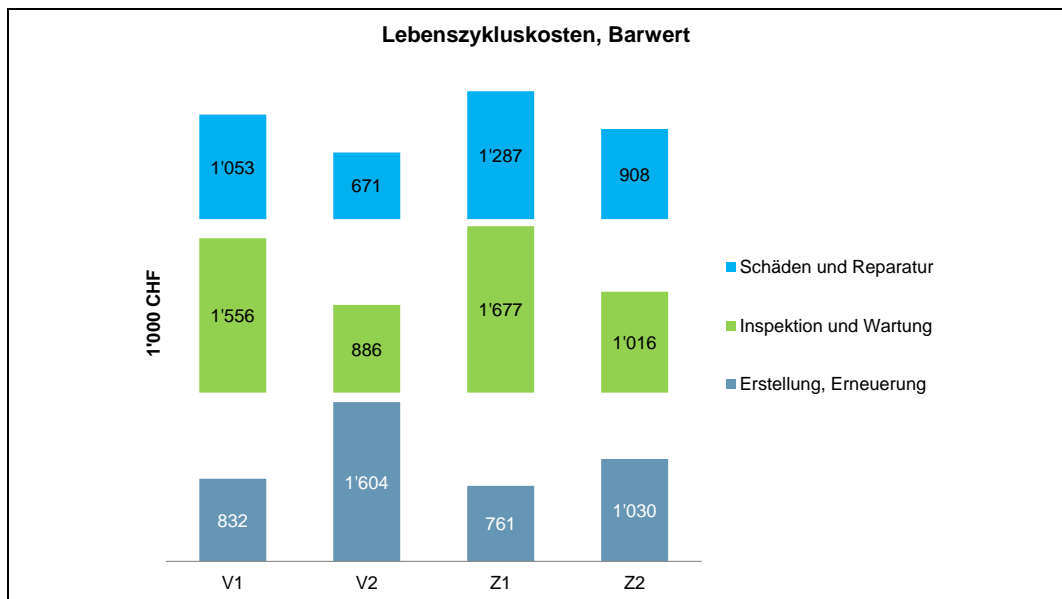
**Abb. 6-8:** Lebenszykluskosten: Variantenvergleich im Fallbeispiel

In der Analyse – vgl. folgende Abbildung – zeigt sich, dass Erstellungs- und Erneuerungskosten, Inspektions- und Wartungskosten sowie Kosten von Schäden und Reparaturen im Fallbeispiel relativ ähnliche Anteile an den Lebenszykluskosten haben; keine Kostenart ist vernachlässigbar.

Bei den Fahrbahnübergängen von Typ 1 (Varianten V1 und Z1) haben die Erstellungs- und Erneuerungskosten einen relativ kleinen Einfluss auf die Lebenszykluskosten.

Dagegen ist bei der Variante V2 der Einfluss der Erstellungs- und Erneuerungskosten dominant.

Bei den Varianten Z1 und Z2 mit „Zuwarten“ kauft man die Synergievorteile einer koordinierten Realisierung des späteren FBÜ-Ersatzes mit höheren Kosten für den betrieblichen Unterhalt während der Überbrückung ein.



**Abb. 6-9:** Struktur der Lebenszykluskosten im Fallbeispiel – Kostenarten

In der folgenden Abbildung sind die Lebenszykluskosten nach Kostenträgern aufgeteilt. Es zeigt sich:

- Die Betreiberkosten unterscheiden sich von Variante zu Variante nicht sehr. Die Betreiber würden wohl Variante V1 – sofortiger FBÜ-Ersatz mit dem billigen Typ 1 – vorziehen, weil diese für die Betreiber die niedrigsten Lebenszykluskosten hat. Nächstbeste Variante aus Sicht der Betreiber ist Z2 – FBÜ-Ersatz mit Typ 2, aber nicht sofort –, weil sich diese Variante am besten mit anderen Massnahmen koordinieren lässt.
- Die Nutzerkosten sind der Grund, weshalb der teure, aber langlebige und robuste FBÜ-Typ 2 vorzuziehen ist. Bei diesem Typ sind die Betriebserschwerungskosten für die Verkehrsteilnehmer während Erstellung/Erneuerung, Unterhalt und eingeschränkter Verfügbarkeit am geringsten.
- Der gesamthafte LZK-Vorteil der Variante Z2 – FBÜ-Ersatz mit Typ 2, aber nicht sofort – ist also ein Kompromiss, der die Interessen von Betreibern und Verkehrsteilnehmern am besten zusammenbringt.



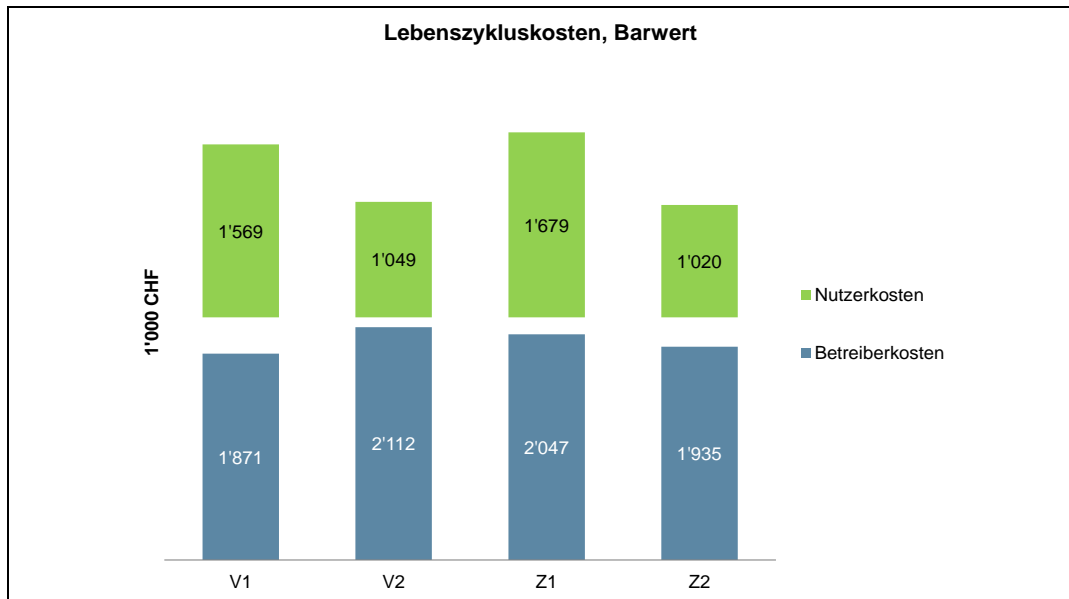


Abb. 6-10: Struktur der Lebenszykluskosten im Fallbeispiel – Kostenträger

### 6.2.6 Umgang mit Unsicherheiten modellieren

Nehmen wir an, im Fallbeispiel sind folgende Hauptunsicherheiten identifiziert:

*externe Unsicherheiten hinsichtlich der*

- Verkehrsentwicklung
- Auswirkung der Verkehrszunahme auf die Engpass- bzw. Stauprobleme

*lösungsspezifische Unsicherheiten hinsichtlich der*

- Preisentwicklung (Erstellung bzw. Erneuerung, Instandhaltung)
- Baustellendauer bei Erstellungs-, Erneuerungs- und Reparaturmassnahmen
- Schadensanfälligkeit in Abhängigkeit vom Anlagenalter

Eine weitere Unsicherheit ist, ob eine Koordination mit anderen Bauarbeiten wirklich möglich ist und ob sich die erwarteten Synergieeffekte einstellen.

Folgende Tabelle gibt einen Überblick darüber, wie diese beispielhaften Tatbestände in die Lebenszykluskosten eingehen und welche Einflüsse zu erwarten sind:

Unsicherheit bezüglich	Ausprägung	beeinflusst
Verkehrsentwicklung	jährliche Zunahme der Anzahl Fahrzeuge	- Schadensanfälligkeit - Reparaturkosten - Nutzerkosten
Entwicklung der Stauprobleme	Zunahme der Geschwindigkeitsreduktion in der Baustelle mit zunehmendem Verkehr	- Nutzerkosten
Preisentwicklung	Baukosten Instandhaltungskosten	- Betreiberkosten
Baustellendauer	Anzahl Baustellentage, Fahrzeitverluste für die Verkehrsteilnehmer	- Nutzerkosten
Alterungsabhängigkeit der Schadensanfälligkeit	Wahrscheinlichkeit/Häufigkeit von Reparaturmassnahmen	- Schadensanfälligkeit - Reparaturkosten - Nutzerkosten
Koordination mit anderen Baumassnahmen	Anrechenbarkeit der Baustellenkosten, anzurechnende Fahrzeitverluste für die Verkehrsteilnehmer	- Betreiberkosten - Nutzerkosten

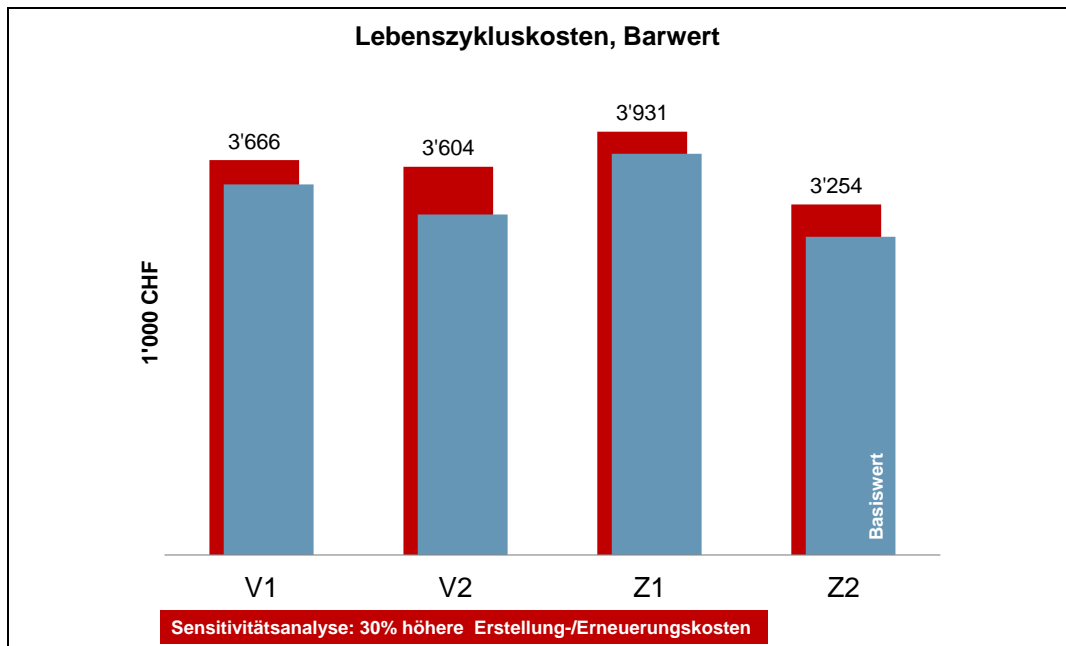
Abb. 6-11: Fallbeispiel: Unsicherheitsfaktoren für die Höhe der Lebenszykluskosten

### Sensitivitätsanalyse

Häufig werden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, mit denen geprüft wird, wie sich das Ergebnis verändert, wenn man einzelne Unsicherheitsfaktoren anpasst.

In der folgenden Abbildung wird beispielhaft gezeigt, wie sich das Ergebnis verändert, wenn man um 30% höhere Erstellungs- bzw. Erneuerungskosten annimmt. Es zeigt sich:

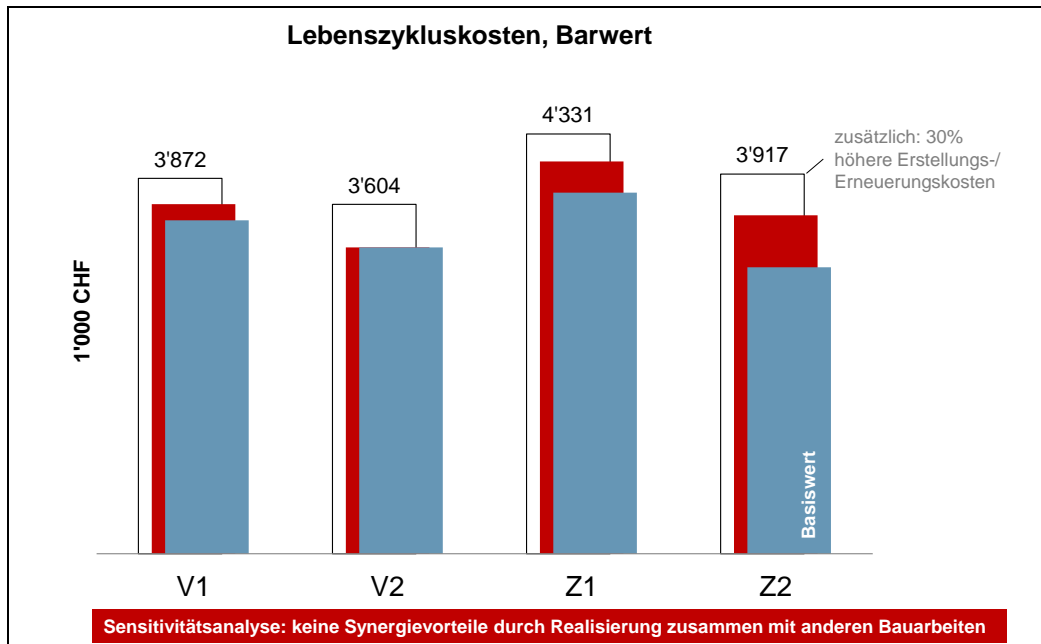
- Trotz der höheren Lebensdauer und dem längeren Erneuerungszyklus würden sich die Lebenszykluskosten beim teuren FBÜ-Typ 2 besonders stark erhöhen, vor allem, wenn die Erstellung nicht mit anderen Baumassnahmen koordiniert wird (V2).
- Insgesamt bliebe die Variante Z2 (verzögerter Ersatz der Fahrbahnübergänge mit Typ 2) aber die Lösung mit den tiefsten Lebenszykluskosten.



**Abb. 6-12:** LZK-Sensitivitätsanalyse im Fallbeispiel: höhere Erstellungs- bzw. Erneuerungskosten

Beispiel 2: Wie sensitiv würden die Lebenszykluskosten reagieren, wenn die erwarteten Synergievorteile durch Koordination mit anderen Bauarbeiten nicht eintreten? Folgende Abbildung zeigt:

- Die Lebenszykluskosten sind erwartungsgemäss vor allem bei den Varianten Z höher, die ja bewusst auf die Ausnutzung der Synergien ausgerichtet sind. „Zuwarten“ mit dem Ersatz der Fahrbahnübergänge würde keinen Sinn machen, wenn Synergien mit anderen Bauarbeiten nicht ausgenutzt werden können.
- Insgesamt zeigt sich, dass der Entscheid für Fahrbahnübergänge vom Typ 2 bei gegebenen Erstellungskosten nach wie vor richtig wäre.
- Das gilt auch dann, wenn wir gleichzeitig höhere Erstellungs- und Erneuerungskosten annehmen.



**Abb. 6-13:** LZK-Sensitivitätsanalyse im Fallbeispiel: keine Synergievorteile durch Realisierung zusammen mit anderen Bauarbeiten

### Risikoanalyse

Das Basisresultat beruht auf höchstwahrscheinlichen Parametern. Bei der Sensitivitätsanalyse werden einer oder mehrere der unsicheren Parameter verändert. Mit den veränderten Parametern wird eine einzelne Neuberechnung durchgeführt, und man prüft, wie weit das neue Resultat vom Basisresultat abweicht. Bei der Interpretation dieser Abweichung ist – allenfalls qualitativ – zu berücksichtigen, wie wahrscheinlich die angenommene Veränderung der Parameter von ihren höchstwahrscheinlichen Werten ist.

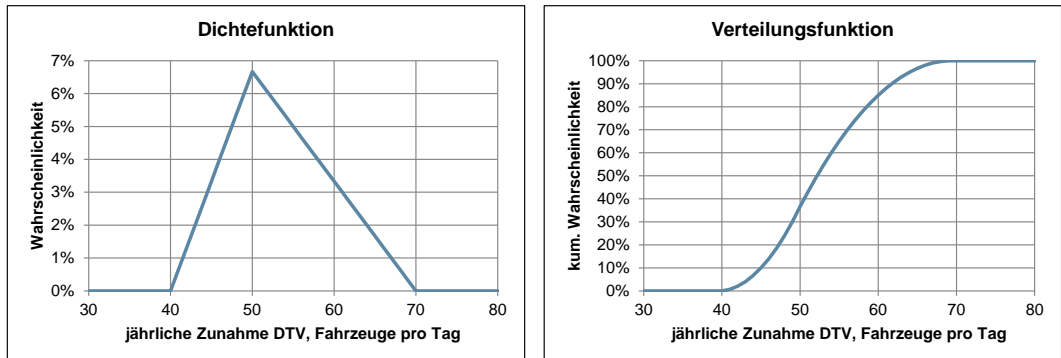
Bei der Risikoanalyse trifft man bewusste und möglichst gut abgestützte Annahmen an die Bandbreiten der unsicheren Parameter und ihre Wahrscheinlichkeitsverteilung. Dann führt man eine Reihe von Rechengängen mit Parameterkombinationen durch, die unter Berücksichtigung von Bandbreiten und Wahrscheinlichkeiten zufällig und immer wieder neu zusammengestellt werden. Mit genügend vielen Rechendurchgängen erhält man so ein Gesamtbild für die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Lebenszykluskosten das Ausmass des mit den einzelnen Unsicherheitsfaktoren verbundenen Risikos (Monte-Carlo-Methode). Es gibt mittlerweile einfach anwendbare Softwarezusätze zu den gängigen Tabellenkalkulationsprogrammen, mit denen solche Berechnungen und Auswertungen leicht möglich sind.

Im Fallbeispiel werden die in der folgenden Tabelle angegebenen Bandbreiten für die unsicheren Werte angenommen.

Unsicherheitsfaktor	Basiswert (wahrscheinlichster Wert)	erwarteter Minimalwert	erwarteter Maximalwert
Verkehrsentwicklung	<b>+ 50 Fz. pro Jahr</b>	+ 40 Fz. pro Jahr	+ 70 Fz. pro Jahr
Geschwindigkeitsverlust	<b>+0,5% pro Jahr</b>	+0,4% pro Jahr	+0,8% pro Jahr
Erstellungs-/Erneuerungskosten	<b>vgl. Abb. 6-6</b>	20% tiefer	30% höher
Instandhaltungskosten	<b>vgl. Abb. 6-6</b>	25% tiefer	40% höher
Baustellendauer pro Fahrbahn	<b>vgl. Abb. 6-6</b>	halb so lang	doppelt so lang
Alterungsabh. Schadensrisiko	<b>+ 5% pro Jahr</b>	+ 2,5% pro Jahr	+10% pro Jahr

**Abb. 6-14:** Fallbeispiel: Bandbreiten für die unsicheren Parameter in der Berechnung der Lebenszykluskosten

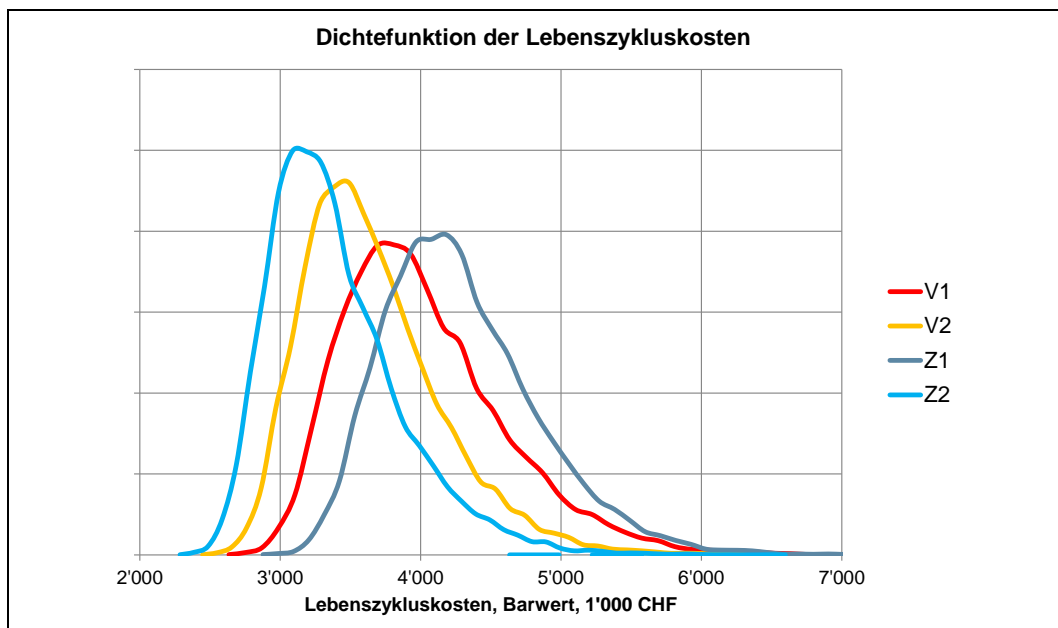
Für die Wahrscheinlichkeitsverteilung dieser unsicheren Parameter werden im Fallbeispiel Dreiecksverteilungen angenommen. Dabei liegt der Parameter mit 100% Wahrscheinlichkeit über dem Minimalwert und mit 100% Wahrscheinlichkeit unter dem Maximalwert; zwischen den Eckwerten und dem wahrscheinlichsten Wert wird ein linearer Verlauf der Wahrscheinlichkeiten angenommen (vgl. folgende Abbildung). Statt der Dreiecksverteilungen können natürlich auch andere Wahrscheinlichkeitsverteilungen angenommen werden.



**Abb. 6-15:** Beispiel für die Dreiecksverteilung der Wahrscheinlichkeiten im Fallbeispiel (hier: Verkehrsentwicklung)

In der folgenden Abbildung ist die Häufigkeitsverteilung der Berechnungsergebnisse aus der Monte-Carlo-Simulation unter Berücksichtigung aller Unsicherheitsfaktoren aus Abbildung 6-14 dargestellt. Es zeigt sich:

- Erwartungsgemäss ist die Bandbreite der Lebenszykluskosten für die Varianten V2 und Z2 mit dem zuverlässigeren FBÜ-Typ schmaler als die Bandbreite für die Varianten mit dem anfälligeren FBÜ-Typ 1.
- Bei Variante Z2 – hinausgezögerter FBÜ-Ersatz mit Typ 2 – ist der am häufigsten errechnete LZK-Wert (die Spitze der Häufigkeitsverteilung) tiefer als bei den anderen Varianten, was die günstige deterministische Beurteilung bestätigt.

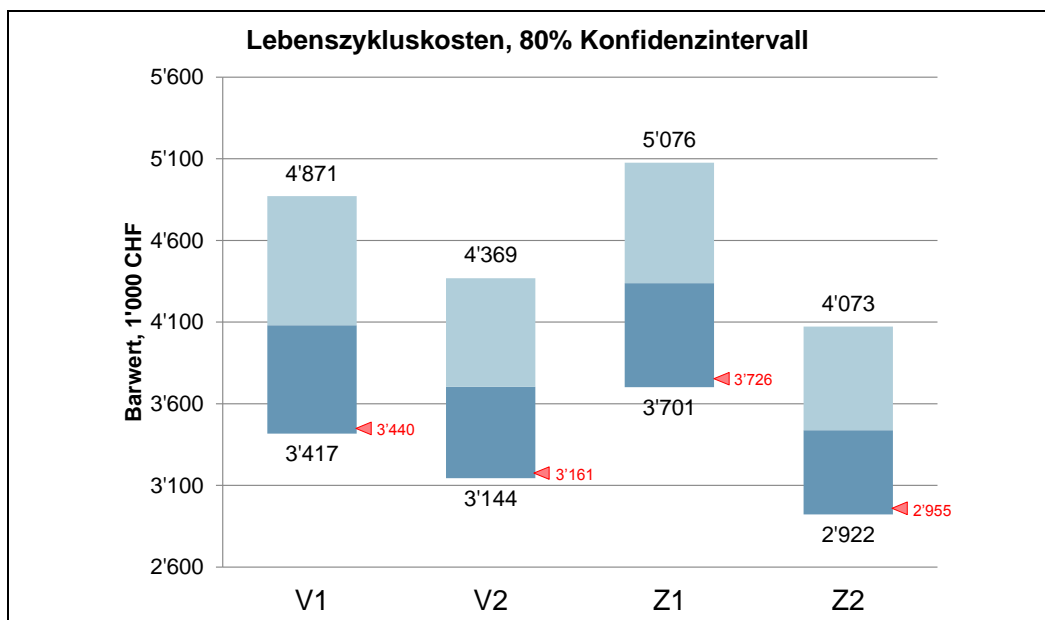


**Abb. 6-16:** Fallbeispiel: Rechenergebnisse der LZK-Simulation mit unsicheren Parametern nach der Monte-Carlo-Methode

Die folgende Abbildung zeigt die Intervalle, in denen die Lebenszykluskosten mit 80% Wahrscheinlichkeit zu erwarten sind. Die Grenze der beiden unterschiedlich gefärbten Bereiche zeigt den Mittelwert der Rechenergebnisse (aus 25'000 Durchläufen) und gibt damit einen Hinweis auf den Erwartungswert der Lebenszykluskosten.

Es zeigt sich vor allem, dass Variante Z1 – hinausgezögerter FBÜ-Ersatz mit dem billigen Typ 1 – definitiv nicht zu empfehlen ist. Dagegen überlappen sich die Konfidenzintervalle von Variante V2 und Variante Z2 weitgehend.

Die Konfidenzintervalle zeigen, dass in den Lebenszykluskosten des Fallbeispiels beträchtliche Risiken liegen. Das mit den höchstwahrscheinlichen Parametern berechnete Basisresultat – rote Markierung – liegt weit unter dem Erwartungswert, an der unteren Grenze des Konfidenzintervalls; es ist also recht unwahrscheinlich. Der Grund dafür ist, dass die in **Abb. 6-14** gezeigten Bandbreiten der unsicheren Parameter konservativ gewählt sind; der erwartete Maximalwert weicht in jedem Fall stärker vom höchstwahrscheinlichen Wert ab als der erwartete Minimalwert. Wie das Beispiel in **Abb. 6-15** zeigt, bedeutet das, dass höhere Werte häufiger zu erwarten sind als tiefere Werte. Dieser Effekt kumuliert sich schnell und führt dazu, dass der Erwartungswert der Lebenszykluskosten so viel höher ist als der deterministische Basiswert. Das zeigt, wie wichtig eine Risikoanalyse sein kann.



**Abb. 6-17:** Fallbeispiel: Bereich, in dem die Lebenszykluskosten mit 80% Wahrscheinlichkeit zu erwarten sind. Die Grenze zwischen den unterschiedlich gefärbten Bereichen markiert den Mittelwert der Rechenergebnisse. Die rote Markierung zeigt das deterministische Basisergebnis entsprechend **Abb. 6-8**.

Die Risikoanalyse liefert ausserdem Aufschluss darüber, welche Unsicherheitsfaktoren besonders grosse Risiken bedeuten. Dies wird in der folgenden Abbildung deutlich, in der dargestellt wird, wie gross die durch den jeweiligen Unsicherheitsfaktor verursachte Abweichung vom Erwartungswert der Lebenszykluskosten ist.

Im Fallbeispiel ist das Schadenrisiko bei allen Varianten Risikotreiber Nummer 1: Ein weiteres Argument, in den teureren, aber zuverlässigeren Fahrbahnübergangstyp 2 zu investieren.

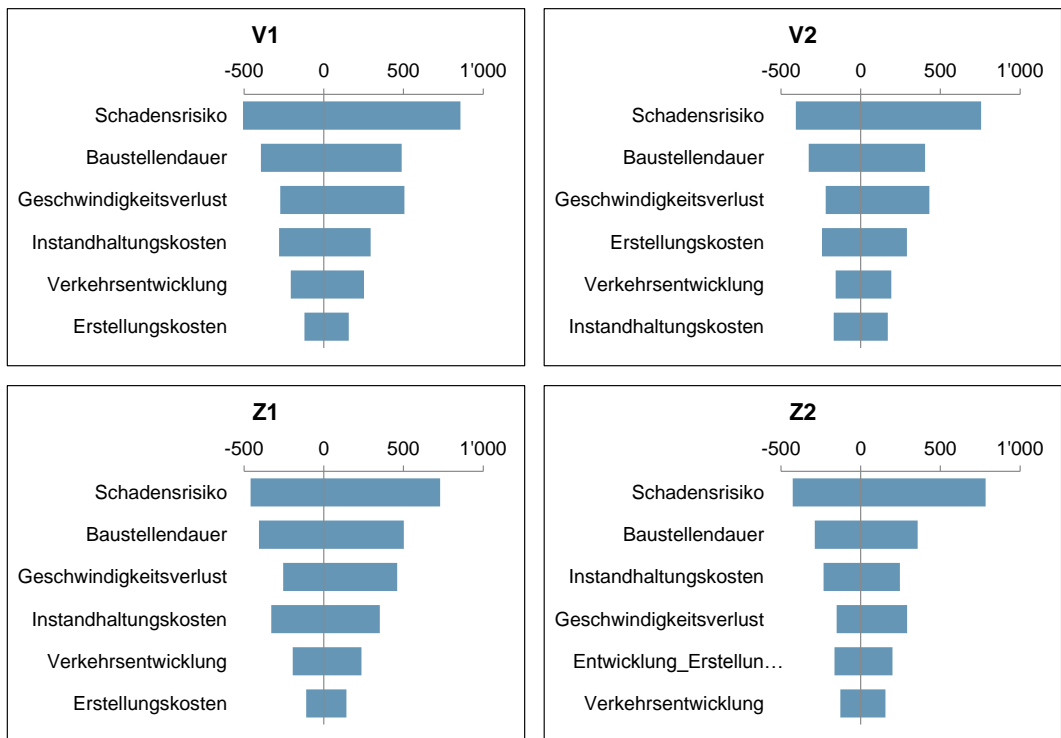
Mit Ausnahme von Variante V2 ist die Baustellendauer Risikotreiber Nummer 2. Das ist insofern bemerkenswert, als sich die Baustellendauer im Fallbeispiel hauptsächlich auf die Betriebserschwerungskosten der Verkehrsteilnehmer auswirkt.

Dritter wichtiger Risikotreiber ist die Unsicherheit über die Entwicklung der Geschwindigkeitsverluste mit zunehmendem Verkehr. Nur bei Variante Z2, bei der die Geschwin-

digkeitsverluste während der Bauzeit überwiegend grösseren Baumassnahmen zugeordnet werden, spielt diese Unsicherheit eine geringere Rolle.

Unsicherheiten über die Preise von Erstellungs-/Erneuerungs- und Instandhaltungs-/Reparaturmassnahmen finden sich erst im Mittelfeld der Risikotreiber, obwohl die angenommenen Bandbreiten beträchtlich sind.

Für die Lebenszykluskosten der Fahrbahnübergänge ist die Entwicklung des Verkehrs im Fallbeispiel weniger riskant. Abgesehen vom Einfluss auf den Geschwindigkeitsverlust hat die Verkehrsentwicklung auf die Bandbreite der Lebenszykluskosten nur einen geringen Einfluss.



**Abb. 6-18:** Fallbeispiel: Analyse der „Risikotreiber“. Die Balken zeigen, wie gross die durch den jeweiligen Unsicherheitsfaktor verursachten Abweichungen vom Erwartungswert der Lebenszykluskosten sind.

### 6.2.7 Kontrollfragen; LCC als iterativer Prozess

Im Sinne des iterativen Prozesses des Life Cycle Costing sind die Resultate nun nochmals genau zu analysieren um festzustellen, ob weitere Optimierungen resp. Kostenminimierungen möglich sein könnten:

- Sind die relevanten Kostentreiber richtig erfasst?
- Könnte es sich lohnen, die Systemgrenze anders zu definieren und damit eine gesamthaft günstigere Lösung zu erzielen?
- Ist der funktionale Nutzen der untersuchten Varianten tatsächlich identisch, so dass die Betrachtung der LZK genügt und keine weitergehende Kosten/Nutzen-Analyse durchgeführt werden sollte?

Wenn diese und ähnliche Fragen mit Ja beantwortet werden können, kann auf Basis des Resultats und der damit zusammenhängenden Interpretationen eine Empfehlung zur Bestvariante abgegeben werden.

## 6.3 Frequently Asked Questions (FAQ)

Für die meisten Fragen eignen sich der Einstieg über das Diagramm des Prozessablaufs in Kapitel 6.1, über das Fallbeispiel in Kapitel 6.2 oder über das Inhaltsverzeichnis. Die nachfolgende Liste enthält eine Reihe von FAQs mit kurz gehaltenen Antworten und Verweisen auf andere Berichtteile.

### **Wann ist LCC das geeignete Instrument?**

Wenn der funktionale Nutzen der zu betrachtenden Varianten oder Strategien identisch ist und die lebenskostenminimale Lösung gesucht wird.

→ Siehe Kapitel 2.2.3, 2.3.7, 3.2 und 4.2.2

### **Was ist der Unterschied von LCC und KNA?**

Das Instrument des LCC ist ausgelegt auf die Minimierung der LZK bei vorgegebenem funktionalem Nutzen. Das LCC ist ein iterativer Prozess, die LZK sind der Zielparameter. Die KNA kommt insbesondere dann zum Zug, wenn der funktionale Nutzen zu vergleichender Varianten unterschiedlich ist (z.B. Ausbau einer Strasse vs. Beibehaltung der heutigen Kapazität). Mit der KNA können die (Lebenszyklus-)Kosten dem ebenfalls monetarisierten Nutzen gegenüber gestellt werden.

→ Siehe Kapitel 2.3.5, 2.5.7, 3.4.3, 3.4.5, 3.4.7, 4.2.2

### **Gibt es methodische Unterschiede bei der Anwendung des LCC in Abhängigkeit von der Entscheidungssituation?**

Die Grundmethodik (Prozessablauf) bleibt dieselbe. In den Details ist jedoch situationsbezogen zu prüfen, welcher konkrete Ansatz der geeignetste ist. Dies betrifft insbesondere die Festlegung der geeigneten Bewertungsmethodik (→ Kapitel 5.2), des geeigneten Betrachtungszeitraums (→ Kapitel 5.3) und der geeigneten Methodik zur Risikoanalyse (→ Kapitel 5.4, 6.2.6).

### **Welche Kosten sind zu berücksichtigen?**

Alle Betreiberkosten innerhalb des Betrachtungszeitraums, zusätzlich die volkswirtschaftlichen Kosten bei Nutzern und Dritten aufgrund von Betriebserschwernissen, Belästigungen und Unfällen durch Bau, Unterhalt, Qualitätsmängel und Störungen.

→ Siehe Kapitel 3.3

### **Wie teile ich „gemeinsame“ Kosten bei Synergien den einzelnen Teilen / Komponenten zu?**

Hier ist ein pragmatischer Ansatz gefragt. Wenn z.B. die Erneuerung eines Fahrbahnübergangs mit einer Gesamterneuerung der Brücke zusammengelegt wird, so scheint es gerechtfertigt, dass die Baustellenkosten der Gesamterneuerung und nicht dem Fahrbahnübergang angelastet werden.

→ Siehe Kapitel 6.2.3, 6.2.4, 6.2.5

### **Wie bestimme ich den Betrachtungszeitraum?**

Der sinnvolle Betrachtungszeitraum hängt von diversen Faktoren ab, wie z.B. den gesetzten Rahmenbedingungen, den zur Verfügung stehenden Daten und den zukünftigen Handlungsoptionen.

→ Siehe Kapitel 5.3

### **Ich soll einen LZK-minimalen Fahrbahnbelag wählen, aber der Belag wird wegen Werkleitungsarbeiten immer wieder aufgerissen. Was soll ich tun?**

Zeitpunkte für die Werkleitungsarbeiten abschätzen, Synergiepotenzial durch Koordination von Belags- und Werkleitungsarbeiten bei der Kostenschätzung berücksichtigen, günstigen, weniger langlebigen Fahrbahnbelag in Erwägung ziehen.

→ Siehe Kapitel 3.1.1, 5.1

**Zwar ist ein Ende der Nutzungsdauer für meine Strassenanlage nicht abzusehen, aber die Verkehrsentwicklung, das Verhalten meiner Anlage und/oder die Betriebs- und Erhaltungskosten werden auf lange Sicht so ungewiss, dass die dann zumaligen Kosten nicht mehr abschätzbar sind. Was soll ich tun?**

Es gibt verschiedene Möglichkeiten: Höheren Diskontsatz wählen, damit die weit in der Zukunft liegenden Kosten in der LZK-Betrachtung ein geringeres Gewicht erhalten; Szenarienanalyse; Betrachtung auf den Zeitraum einigermaßen verlässlicher Kosten beschränken, aber dann allenfalls Restwerte berücksichtigen.

→ Siehe Kapitel 4.3, 5.2.2, 5.3, 5.4

**Wann arbeite ich mit realen, wann mit nominalen Werten?**

Normalerweise ist mit realen Werten zu arbeiten, d.h. mit Werten auf einer gegebenen Preisbasis, ohne Berücksichtigung der konjunkturellen Teuerung.

→ Siehe Kapitel 4.3.4

**Wie gehe ich mit Preissteigerungen um?**

Wir empfehlen das Rechnen mit realen Kosten, d.h. Kosten auf einer gegebenen Preisbasis, ohne Berücksichtigung einer Teuerung (entsprechend ist auch der Diskontsatz ein realer Zins, d.h. ein Marktzins abzüglich der Teuerungsrate).

Wenn jedoch mit starken relativen Preisänderungen relevanter Ressourcen gerechnet werden muss, sind diese relativen Preisänderungen zu berücksichtigen. Beispiel: Es wird erwartet, dass der Preis für Asphalt oder für Armierungsstahl viel schneller steigen wird als die allgemeine Bauteuerung. Oder: Es wird erwartet, dass der Preis für elektronische Ausrüstung pro Leistungseinheit sinken wird. Solche relativen Preisänderungen können entweder bereits in das Kostenmodell eingebaut werden, oder sie sind in der Risikoanalyse zu berücksichtigen.

Bei der Berücksichtigung relativer Preisänderungen ist wichtig, dass beim Rechnen mit realen Kosten nur der über die normale Teuerung hinausgehende Teil berücksichtigt wird. Beispiel: Es wird damit gerechnet, dass der Preis für Asphalt um 5% pro Jahr steigt. Die normale Teuerung beträgt 2% pro Jahr. Im Kostenmodell auf heutiger Preisbasis ist mit derjenigen Preisänderung für Asphalt zu rechnen, die die normale Teuerung übersteigt, d.h. mit 3% pro Jahr.

→ Siehe Kapitel 4.3.4

**Gehören Abschreibungen in die LZK-Analyse?**

Die in dieser Arbeit diskutierten LZK-Modelle sind eine Ausgaben- bzw. Cash-Flow-Rechnung, keine Gewinn- und Verlustrechnung. Abschreibungen sind in der Ausgabenrechnung nicht zu berücksichtigen. Dafür gehen ja die Investitionen und sonstige Ausgaben für Anlagen in ihrer effektiven Höhe in die Lebenszykluskosten ein.

Eine spezielle Herausforderung sind vorzeitige Investitionen. Nehmen wir an, eine Anlage soll ersetzt werden, bevor sie vollständig abgeschrieben ist, zum Beispiel weil eine neue Anlage viel tiefere Betriebskosten verspricht. In der LZK-(Ausgaben-)Rechnung ist dann der Restwert der alten Anlage zu berücksichtigen.

Ein Finanzverantwortlicher wird aber einwenden, dass der Restwert sehr zweifelhaft ist, vor allem wenn die Anlage nicht verkauft und anderweitig genutzt werden kann. Die notwendige Abschreibung ist dagegen eine buchhalterisch zwingende Realität. Anstelle einer Ausgabenrechnung kann man deshalb auch eine Gewinn- und Verlustrechnung anstellen, die diese Abschreibung berücksichtigt.



### **Gehören Kapitalzinsen in die LZK-Analyse?**

Strassenanlagen in der Schweiz werden grundsätzlich aus Haushaltsmitteln und ohne Fremdkapital finanziert; also sind typischerweise auch keine Kapitalzinsen zu bezahlen.

Sollten in Zukunft auch privatwirtschaftliche Finanzierungsinstrumente zum Einsatz kommen und Kapitalzinsen anfallen, beispielsweise im Rahmen von Public-Private Partnerships, hängt die Antwort auf die obige Frage von der Perspektive ab. Aus der reinen Betreibersicht sind Kapitalzinsen als Teil der LZK zu berücksichtigen, da sie für den Betreiber Ausgaben darstellen. Beziehen wir aber auch Benutzer und Dritte in die Betrachtung ein, werden Kapitalzinsen zu Transfers: Für den Betreiber sind sie Ausgaben, aber für andere Mitglieder der Gesellschaft – z.B. Banken – sind sie in gleicher Höhe Einnahmen. In diesem Fall sind sie nicht zu berücksichtigen.

### **Gehören Steuern in die LZK-Analyse, insbesondere die Mehrwertsteuer?**

Solange nicht Teilbilanzen (Betreiber, Nutzer, Dritte) interessieren: grundsätzlich nein. Mit Ausnahme von Privatstrassen ist der Strassenbetreiber in der Schweiz Teil der öffentlichen Hand, d.h. die Steuern, die er bezahlt, fließen einem anderen Teil der öffentlichen Hand wieder zu. Folglich sind Steuern in der LZK-Analyse nicht zu berücksichtigen. Nur wenn es irgendwann einmal private Strassenbetreiber geben sollte, würden die Steuern aus ihrer reinen Betreibersicht eine relevante Ausgabe.



## 7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

### 7.1 Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

#### 7.1.1 LCC als Grundlage von Investitionsentscheidungen bei SVA'n

Die Berechnung der Lebenszykluskosten (LZK) eines hochrangigen Wirtschaftsgutes wie einer Strasse, einer Brücke oder einer Verkehrssteueranlage schafft die erforderliche Transparenz für nachhaltige Investitionsentscheide. Im Kosten orientierten Wirtschaftsumfeld fallen Investitionsentscheide für Neuanschaffungen, Erneuerungen, Erhaltungs- oder Sanierungsmassnahmen auf Grund der Gesamtkosten, also der Lebenszykluskosten. Tiefste Anschaffungskosten sind nicht gleichbedeutend mit minimalen Lebenszykluskosten.

Das Erreichen minimaler Lebenszykluskosten ist eine Gestaltungsaufgabe und erfordert ein auf komplexe Prozesse ausgerichtetes Denken sowohl der planenden Ingenieure wie auch der Entscheidungsträger des Auftrag gebenden Investors selbst. Eindeutig quantifizierbare Vorgaben, Zielsetzungen und Rahmenbedingungen sind unverzichtbare Voraussetzungen.

Zur Umsetzung dieser Vorgaben ist das Life Cycle Costing (LCC) das Instrumentarium, das für die auftretenden Überlegungen und Prozesse die geeigneten Kostenfaktoren und Berechnungsgrundlagen zur Verfügung stellt. Die gestalterische Umsetzung selbst versteht sich als anspruchsvolle Engineeringaufgabe (Life Cycle Engineering – LCE), deren bewirtschaftende Sicherstellung während der Nutzungsdauer der Strassen und Anlagen als entsprechende Managementaufgabe (Life Cycle Management – LCM).

#### 7.1.2 Anwendung von LCC im Strassenmanagement

Die vorliegende Forschungsarbeit hat die erfolversprechende Anwendung der LCC-Methodik auf Strassenverkehrsanlagen mit all ihren Teilsystemen und Einzelobjekten aufgezeigt. Dabei lassen sich nicht nur die tiefsten Gesamtkosten im Rahmen des vorgegebenen funktionalen Nutzens ermitteln, sondern die Langfristigkeit der erforderlichen Überlegungen führt zwangsläufig zu innovativen Lösungsansätzen. Massgeblich ist, dass sich die anzuwendende Methodik auf der Grundlage der Objektorientierung (OLCC) vollzieht.

Für die Anwendung des LCC im Strassenmanagement von der Gemeindeebene bis zum Bund sind die folgenden praktischen Erkenntnisse wichtig:

- Die Literaturlauswertung und Erfahrung zeigt, dass LCC einen wesentlichen Beitrag zur Senkung der LZK zu leisten vermag. Da Strasseninfrastruktur relativ kapitallastig ist, sind die Nutzungsdauer und deren Verlängerung wichtige Hauptthemen des LCC.
- Die Werterhaltungsstrategie hat dadurch einen erheblichen Einfluss auf den zu wählenden Betrachtungszeitraum.
- Life Cycle Costing ist eine Gestaltungsaufgabe mit komplexen Überlegungen. Mittels LCC wird in einem iterativen Prozess für die der Aufgabenstellung bestgeeignete Systemabgrenzung die Lösung (Erhaltungsstrategie, Bauvariante, etc.) mit den minimalen Lebenszykluskosten ermittelt.
- Das LCC kann zwar in jedem Planungsstadium oder „Lebensabschnitt“ zur Anwendung kommen, bei gleichbleibender Methodik. Seine volle Wirkung entwickelt es jedoch, wenn es bereits bei den ersten strategischen und konzeptionellen Überlegungen der avisierten Massnahme zum Einsatz kommt. Je früher das LCC angewendet wird, desto grösser ist das Kosteneinsparpotenzial.
- „Korrektes“ Life Cycle Costing ist anspruchsvoll. Herausforderungen bilden insbesondere das sinnvolle Setzen der Systemgrenzen, die Wahl des Variantenfächers sowie des Betrachtungszeitraums, das Aufstellen eines angemessenen Kostenmodells, welches die der Planungsstufe entsprechend verfügbaren Kostengrundlagen optimal zu berücksichtigen vermag, der Umgang mit Prognoseunsicherheiten und eine methodisch korrekt angewendete Risikoanalyse.

- Unklar gesetzte Rahmenbedingungen (z.B. Qualitätsanforderungen) lassen eher Varianten mit unterschiedlichem funktionalem Nutzen zu. In solchen Fällen sind entweder die Rahmenbedingungen anzupassen, oder es ist auf eine weitergehende Kosten-Nutzen-Analyse auszuweichen, bei welcher auch der unterschiedliche Nutzen in der Betriebsphase berücksichtigt wird.
- Damit verbunden ist die Forderung an die Entscheidungsträger, als Grundlage für das LCC eindeutige, quantitativ messbare Zielvorgaben mit den dafür erforderlichen Rahmenbedingungen (z.B. Qualitätsanforderungen) zu formulieren.
- Ein effektives LCC setzt Informationen und Daten in genügender Qualität voraus. Dies ist eine Organisationsaufgabe der Entscheidungsträger.

## 7.2 Forschungsbedarf

### 7.2.1 Life Cycle Costing allgemein

In Kapitel 2 der vorliegenden Forschung konnte aufgezeigt werden, dass das Life Cycle Costing sowohl national, international, wie auch Branchen übergreifend sehr unterschiedlich wahrgenommen und interpretiert wird. Das drückt sich selbst in widersprüchlichen nationalen und internationalen Normen aus. Dabei sind die Grundüberlegungen des Life Cycle Management und damit auch des Life Cycle Costing für alle Investitionsgüter gleichermaßen gültig. Dabei spielt die Objektart keine Rolle, egal ob es sich um eine Strassenverkehrsanlage, ein Gebäude, die maschinellen Ausrüstungen von Industrieanlagen oder Flotten-Portfolios handelt.

Standardisierungsbemühungen haben, wie gezeigt, bisher nicht den erforderlichen Erfolg erbracht. Hier besteht noch ein breites Feld für die internationale Forschung und Normierung, die weit über den Bereich der Strassenverkehrsanlagen hinausgeht. Die vorliegende Forschung hat hierfür Ansätze aufgezeigt. Damit sind auch andere Forschungsinstitutionen als das ASTRA angesprochen.

Die Forschung hat gezeigt, dass für zukünftige Standardisierungen eine klare Trennung zwischen dem Product Life Cycle Costing (PLCC) und dem Object Life Cycle Costing (OLCC) geschaffen werden muss. Der Fokus auf den Einsatz hochwertiger Wirtschaftsgüter wie Strassen, Gebäude oder Industrieanlagen verläuft grundsätzlich anders als derjenige auf den Wirtschaftszyklus von produzierten Gebrauchsgütern und alle damit in Zusammenhang stehenden Einfluss- und Kostenfaktoren.

Für die vorliegende Forschung mit Optik auf die Strassenverkehrsanlagen war diese Erkenntnis fundamental. Weitergehende vertiefende Forschungen und Normierungen im Bereich der Strassen, Kunstbauten und verkehrstechnischen Anlagen müssen diese Leitlinie konsequent weiter verfolgen.

### 7.2.2 LCC bei Strassenverkehrsanlagen

Im vorliegenden Bericht werden die Grundlagen zur Anwendung von Lebenszykluskosten bei Strassenverkehrsanlagen gelegt. Da es sich um eine Grundlagenarbeit handelt, konnte nicht allzu stark in die Tiefe gegangen und auf Details verschiedener Entscheidungssituationen eingegangen werden. Aus dieser Perspektive zeigt sich folgender weiterer Forschungsbedarf:

- Auf Basis der nun vorliegenden allgemeingültigen Grundlagen ist zu überlegen, in welcher Form teilsystem- und/oder planungsstufenspezifische LCC-Wegleitungen erarbeitet werden sollen. In solchen Wegleitungen kann vertiefter auf die konkreten Bedürfnisse und Fragen des Anwenders eingegangen werden.
- Im gleichen Zusammenhang stellt sich die Frage, ob und in welcher Form ein Berechnungstool – am ehesten auf Excel-Basis – für das LCC entwickelt werden könnte. Ein solches hätte folgende Vorteile resp. Anforderungen:
  - Grundgerüst und Praxishilfe, an welchem sich der Anwender orientieren kann
  - einheitliche Grundmethodik, welche gleichzeitig die notwendigen Freiheiten für Anpassung an die konkrete Fragestellung zulässt

- Möglichkeit, für verschiedene Entscheidungssituationen verschiedene Vorlagen bereitzustellen
- Die Herausforderung wird sein, aufgrund der Komplexität der Materie und der projektspezifisch unterschiedlichen Bedürfnisse und Anforderungen die Ziele mit vertretbarem Aufwand zu erreichen.
- Aufgrund der Komplexität und der hohen mathematischen / statistischen Anforderungen wurde ein Schwachpunkt beim Umgang und bei der Quantifizierung und Interpretation von Unsicherheiten und Risiken ausgemacht. Da der Praktiker in diesem Feld häufig nur ungenügende Kenntnisse mitbringt, wird hier sowohl bezüglich anwendungsorientierter Grundlagenarbeit als auch praxisorientierter Arbeitshilfen Forschungsbedarf ausgemacht.
  - Weiterer Forschungsbedarf wird beim Umgang mit resp. bei der Bestimmung von Restwerten am Ende eines bestimmten Betrachtungsraums gesehen. Hier bestehen Unsicherheiten und Meinungsverschiedenheiten.
  - Diskutiert wurde, ob und in welcher Form verschiedene empirischen Grundlagen systematisch aufgearbeitet werden sollen, welche als Basis für LCC-Berechnungen dienen könnten. Dies könnte z.B. ein „Kataster“ mit möglichen Lebens- und Nutzungsdauern verschiedenster Elemente oder „typischer“ Zustandsentwicklungskurven sein. Aufgrund der technischen Entwicklungen, der grossen Streubereiche, der starken Situationsabhängigkeit und des damit verbundenen hohen Aufwands (inkl. permanentem Aktualisierungsbedarf) wird ein solches Vorhaben aber als Herausforderung angesehen.



## Anhänge

I	Anhang 1 – Standardisierungsversuch nach Geissdörfer .....	177
---	--	-----





# I Anhang 1 – Standardisierungsversuch nach Geissdörfer

Im Kapitel 2.4.3 wurde auf den nachstehend skizzierten Standardisierungsversuch nach Geissdörfer et al [24] verwiesen.

Die Autoren haben 20 bekannte LCC-Modelle auf bestimmte Standardisierungskriterien hin untersucht. In die Untersuchung eingeflossen sind solche Modelle, die vor allem auf kapitalintensive Anlagen ausgerichtet sind und die damit auch dem vorliegenden Forschungsansatz der Objekt Lebenszykluskosten – OLZK von Strassenverkehrsanlagen entsprechen. Als Grundlage der Betrachtung diente die Norm EN 60300-3-3, die sich nach der Erkenntnis der Autoren am besten für einen Standardisierungsansatz eignet.

Die Betrachtung wurde in nachstehender Tabelle zusammengefasst:

Übersicht Modelle und Kriterien nach Geissdörfer (2009)																			
Modell	Branche	Allgemein					Kriterien								Anzahl erfüllter Kriterien				
		Modellart	Leitfaden oder Modell	Betrachtungsgegenstand	variabel vs. individuell	Qualitative Faktoren	Betrachtungszeitraum und Barwert	Overall Equipment Efficiency (OEE)	Kostenkategorien vorgegeben	Transaktionskosten	Umsatzeffekte	Genauigkeit, Risiko der Werte	Abhängigkeit zwischen Variablen	Einsatz im Einkauf		Einsatz in Entwicklung	Einsatz im Vertrieb	ABC und PKR als Basis	
SEMI E35 (2007)	Semi	COO	M	A	V	o	x	x	x	x	x/tw	o	x	o	x	x	x	o	8
Hurkens, Wynstra (2006)	allgemein	TCO	L/M	T	i	x	x	o	o	0	x/tw	x	o	o	o	x	x	x	8
VDMA (34160) (2006)	VDMA	LCC	M	A	V	o	o	x	x	o	o	o	o	o	x	x	x	o	5
NAFEM (2006)	Food Equip.	LCC	M	A	V	o	x	o	x	o	o	o	o	o	x	x	x	o	5
DeGraeve et al. (1997-2005)	allgemein	TCO	M	T/A	V	x	o	o	tw	tw	x	o	o	x	x	x	o	x	6
Razum (Rockwell) (2003)	E-Motor allg.	TCO	M	T/A	V	o	o	o	o	o	x	o	o	o	x	x	x	o	4
Bierma (2000)	Chemie	TCO	M	A	V	x	o	x	o	x	o	o	o	o	x	x	o	o	5
Ellram (1993-1998)	allgemein	TCO	M	T/A	V	x	o	o	x	x	o	o	o	o	x	x	x	x	7
Carr, Ittner (1992)	allgemein	TCO	M	T	V	x	o	tw	x	x	x/tw	x	o	o	x	x	o	o	6
Monczka (1988)	Electronics	TCO	L/M	T	i	x	o	o	o	o	x/tw	o	o	o	x	o	x	o	4
Kaufmann (1969)	Food	LCC	M	A	V	x	x	tw	x	o	o	o	o	o	x	x	o	o	5
Krokowski (1998)	allgemein	TCO	M	T	i	x	o	o	o	o	x/tw	o	o	o	x	o	x	o	3
Gartner Group (2003)	IT	TCO	M	A	V	x	x	x	x	x	x*	o	o	o	x	x	x	x	10
VDI 2884 (2005)	Prod.-mittel	LCC	M	A	V	x	x	x	x	o	o	x	o	x	x	x	x	o	7
VDV Mitteilung 2315 (2003)	Verkehr	LCC	M	A	V	o	x	x	x	o	o	o	o	o	x	x	x	o	6
DIN EN 60300-3-3 (2005)	allgemein	LCC	L/M	T/A	V	x	x	x	x	x	x/tw	o	x	o	x	x	x	o	9
UNIFE LCC (1997)	Eisenbahn	LCC	M	A	V	o	x	x	x	o	o	o	x	o	x	x	x	o	7
Zehbold (1996)	allgemein	LCC	L/M	T	V	x	x	tw	o	o	o	o	x	x	tw	x	o	o	5
Riezler (1996)	allgemein	LCC	M	T/A	V	x	x	tw	o	o	o	o	x	x	tw	x	o	o	5
Kemminer (1999)	allgemein	LCC	L/M	T	V	o	x	tw	o	o	o	o	x	x	tw	x	o	o	4
		Anzahl Modelle:					13	12	7	12	10	3	7	4	17	18	12	4	
Legende:																			
COO		Cost of Ownership		A		Anlagen und Systeme		x		Kriterium berücksichtigt									
LCC		Life Cycle Cost		T		wiederkehrende, grosszählige		tw		teilweise erfüllt									
TCO		Total Cost of Ownership		i		Anschaffung geringwertiger Güter		o		nicht berücksichtigt									
L		Leitfaden		V		Individuelles Modell		*		Effekte bzgl. Kosten etc. werden bis zum End-User berücksichtigt									
M		Modell		I		Variabel einsetzbar													

Übersicht ausgewählter Modelle und Kriterien zu Standardisierungszwecken; Quelle: Geissdörfer (2008)

Modelle für kapitalintensive Anlagen sind in der Spalte Betrachtungsgegenstand mit [A] gekennzeichnet. Daneben werden auch die Modelle verglichen die sich auf den Produktlebenszyklus ausrichten, mit [T] gekennzeichnet. Die Spalte „Variabel vs. Individuell“ zeigt an, ob es sich um ein variabel einsetzbares (V) Modell handelt oder um ein individuelles (i). Variable Modelle können sich auf Branchen beziehen oder Allgemeingültigkeit besitzen. Sie tendieren in Richtung eines Standards. Individuelle Modelle müssen auf Projektbasis an den jeweiligen Fall angepasst werden.

Verglichen wurden 12 Kriterien. Dabei sind allerdings Kriterien wie Einkauf und Transaktionskosten von vornherein vor allem den als „TCO“ bezeichneten Modellen zugeordnet. Das Kriterium OEE (Overall Equipment Effectivity) ist dagegen typisch für Anlageninvestitionen und damit für Objekt Lebenszykluskosten (in der Tabelle: LCC-Modelle). Berücksichtigt wurde unter anderem auch, ob den Berechnungsverfahren die Prozesskostenrechnung (PKR) bzw. das Activity Based Costing (ABC) zu Grunde liegen. Dies ist nur in 4 Modellen der Fall.

In den Vergleichen sind in den jeweiligen Modellen und Anwendungsbeispielen berücksichtigte Kriterien mit **(x)** bezeichnet. Sind sie teilweise berücksichtigt steht **(tw)** und **(n)**, wenn das Kriterium nicht berücksichtigt wird.

Die Arbeit kommt zu der Erkenntnis, dass die EN 60300-3-3 neun der 12 untersuchten Kriterien erfüllt, die für die Gestaltung des Life Cycle Management von Investitionsgütern (OLCC) entscheidend sind. Auch deckt sie mit ihren Hauptphasen: Entwurf und Entwicklung, Herstellung, Einbau, Betrieb und Instandhaltung, Entsorgung diejenigen Phasen ab, die zumindest für die Strasse selbst (Fahrbahn) massgeblich sind.

## Abkürzungen

Begriff	Bedeutung
ABC	Activity Based Costing
AKS-CH	Anlagenkennzeichnungssystem Schweiz
ALM	Asset Lifecycle Management
AM	Asset Management
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BK	Betriebskosten
BKP-T	Baukostenplan Tiefbau
BSA	Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen
CEN	Comité Européen de Normalisation (Europäisches Komitee für Normung)
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
CHF	Schweizerfranken
COO	Cost of Ownership
CRB	Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DTV	Durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärke
EN	Europäische Norm
EUAC	Equivalent Uniform Annual Cost (Rentenbarwert)
FBÜ	Fahrbahnübergang
FHWA	Federal Highways Administration
GEFMA	German Facility Management Association
GK	Gesamtkosten
IFMA Schweiz	Schweizerische Landesgruppe der International Facility Management Association
ISO	International Organization for Standardization
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
KNA	Kosten-Nutzen-Analyse
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Costing (in diesem Bericht <u>nicht</u> für den Begriff Life Cycle <u>Costs</u> verwendet, siehe LZK)
LCCA	Life Cycle Cost Analysis
LCE	Life Cycle Engineering
LCM	Life Cycle Management, Lebenszyklusmanagement
LKW	Lastkraftwagen
LZK	Lebenszykluskosten
MJK	Mittlere jährliche Kosten
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTF	Mean Time To Failure
MTTR	Mean Time To Repair
NBW	Nettobarwert
NEAT	Neue Eisenbahn-Alpentransversale
NHT	Neue Haupttransversale
NISTRA	Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte
NPV	Net Present Value (Nettobarwert)
OEE	Overall Equipment Effectiveness, Gesamtanlageneffektivität
OLCC	Object Life Cycle Costing
OLZK	Objekt-Lebenszykluskosten
PAS 55	British Standards Institution's (BSI) Publicly Available Specification for the optimized management of physical assets

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
PKR	Prozesskostenrechnung
PLCC	Product Life Cycle Costing
PLCM	Product Life Cycle Management
PLZK	Produkt-Lebenszykluskosten
ppm	parts per million
PPP	Public Private Partnership
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability and Safety
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SN	Schweizer Norm
SVA	Strassenverkehrsanlage
TCBO	Total Cost and Benefit of Ownership
TCO	Total Cost of Ownership
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
WLC	Whole Life Cost
WR	Wirtschaftlichkeitsrechnung
ZMB	Zweckmässigkeitsbeurteilung

## Literaturverzeichnis

- 
- [1] Wübbenhorst, K. L., „Konzept der Lebenszykluskosten – Grundlagen, Problemstellungen und technologische Zusammenhänge“, Darmstadt, 1984
- 
- [2] Zehbold, C: „Lebenszykluskostenrechnung“, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1996
- 
- [3] Goodall, G., „Info-Tech Insight – TCO: What's old is new“; Processor, 21.3.2008, Vol 30, Issue 12, Page 24 in print issue; 2008
- 
- [4] Albrecht J., Kutschke E., „Fabrikplanung Fissler GmbH, Werk Neubrücke/D“, Knight Wegenstein AG, Zürich, 1971
- 
- [5] Weidmann, U., Institut für Verkehrstechnik, ETH Zürich, 2004
- 
- [6] Müller, A., „LCC bei der Deutschen Bahn AG“; Symposium „Ansätze zu alternativen Finanzierungen im Schienenverkehr“, Dresden, 2006
- 
- [7] Herrmann C., „Ganzheitliches Life Cycle Management; Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen“, Springer Verlag, 2010, <http://www.springer.com/978-3-642-01420-8>
- 
- [8] Albrecht, J., Ruosch, H.-P., Stuber, A., „Gegenüberstellung Life Cycle Management zu traditioneller Planung“ – Dokumentation, ALM Asset Lifecycle Management GmbH, 2012
- 
- [9] ISO 14040:2009-11 – Norm, Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040:2006), 2009
- 
- [10] Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), „Prozessstufen des Life Cycle Management“, IFF der Universität Stuttgart, [www.lifecyclemanagement.de](http://www.lifecyclemanagement.de)
- 
- [11] ISO/FDIS 55000 Normentwurf, „Asset Management - Overview, Principles and Terminology“, Final Draft, 2013-10-07
- 
- [12] Empfehlung „PAS 55-1:2008 Asset management. Specification for the optimized management of physical assets“, British Standard Institution, 2008
- 
- [13] Rafi, A., Hajdin, R., Fastricht, A., Welte, U., „Asset Management der Strassen aus der Sicht des Erhaltungsmanagements: Initialprojekt“, Forschungsauftrag VSS 2009 / 708; Bundesamt für Strassen ASTRA, in Arbeit
- 
- [14] Schweiger, S., „Lebenszykluskosten optimieren – Paradigmenwechsel für Anbieter und Nutzer von Investitionsgütern“, Gabler Verlag, 2009
- 
- [15] VDMA 34160:2006-06 – Richtlinie, „Prognosemodell für die Lebenszykluskosten von Maschinen und Anlagen“, VDMA, 2006
- 
- [16] VDI 2884:2005-12 – Richtlinie, „Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing (LCC)“, VDI, 2005
- 
- [17] DIN EN 60300-3-3:2005-03 – Norm, „Zuverlässigkeitsmanagement – Teil 3-3: Anwendungsleitfaden – Lebenszykluskosten; Deutsche Fassung EN 60300-3-3:2004“, 2005
- 
- [18] Mattes, K., Schröter, M., „Bewertung der wirtschaftlichen Potenziale von ressourceneffizienten Anlagen & Maschinen“, Vortrag gehalten bei Energieeffizienzfabrik, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, 2011
- 
- [19] Frank, T., Niemann, J., Westkämper, E., „Ein Tool zur lebenslangen Kostenüberwachung. Vom Life Cycle Costing zum Life Cycle Controlling“; In: wt Werkstatttechnik, 97 (7/8), S. 555-559, 2007
- 
- [20] Weissenberger-Eibl, M., Koch, D., „Gesamtkostenrechnung TCO“, Abschlussdokumentation, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe, Juni 2011
- 
- [21] Krämer, S., „Total Cost of Ownership“, VDM, 2007
- 
- [22] Krischun, S., „Total Cost of Ownership – Bedeutung für das internationale Beschaffungsmanagement“, Diplomica, 2010
- 
- [23] ISO 15686-5:2008-06 – Norm, „Hochbau und Bauwerke – Planung der Lebensdauer – Teil 5: Kostenberechnung für die Gesamtlebensdauer“, 2008
- 
- [24] Geißdörfer, K., Gleich, R., Wald, A., „Standardisierungspotentiale lebenszyklusbasierter Modelle des strategischen Kostenmanagements“, Zeitschrift für Betriebswirtschaft, ZfB (2009) 79:1–23, 2009
- 
- [25] PD 156865:2008 – Empfehlung, „PD 156865:2008 – Standardized method of life cycle costing for construction procurement. A supplement to BS ISO 15686-5. Buildings and constructed assets. Service life planning. Life cycle costing“, British Standard Institution, 2008
- 
- [26] Dervisopoulos, M., Schatka, A., Torney, M., Warwela, M., „Life Cycle Costing im Maschinen- und Anlagenbau“, In: Industrie Management, 22(6), S. 55-58., 2006
- 
- [27] Blinn, N., Peris, M., Günther, R., Nüttgens, M., „State-of-the-Art zur Bewertung von Lebenszykluskosten in Produkt-Dienstleistungssystemen aus der wissenschaftlichen Perspektive mit Fokus auf die Standardisierung“, Arbeitsberichte zur Wirtschaftsinformatik Nr. 11, 2011
-

- [28] SIA 112/1 – Norm „Nachhaltiges Bauen – Hochbau, Ergänzungen zum Leistungsmodell SIA 112“, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, 2005
- [29] SIA 113 – Empfehlung, „FM-gerechte Bauplanung und Realisierung“, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, 2010
- [30] CRB, „LCC-Leitfaden, Planung der Lebenszykluskosten“, CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, 2011
- [31] CRB, „LCC-Handbuch, Instandhaltung und Instandsetzung von Bauwerken“, CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, 2011
- [32] CRB, ProLeMo – Richtlinie „ProLeMo, Prozess-/Leistungsmodell im Facility Management“, CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, Zürich, 2009
- [33] IFMA Schweiz; „Lebenszykluskostenermittlung von Immobilien – Teil 1: Modell“, IFMA Schweiz (in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Bauten und Logistik und weiteren Projektpartnern), vdf-Verlag; 2010
- [34] Hochbaudepartement der Stadt Zürich, LUKRETIA I bis III, „Grundlagendokument zur Anwendung und Ermittlung von Lebenszykluskosten im Rahmen von Baumassnahmen“, Stadt Zürich, 2009
- [35] Schröter, N., „Der Lebenszyklusansatz im Bundesfernstraßenbau“, „Baumangement und Bauökonomie – Aktuelle Entwicklungen“, Teubner Verlag, 2007
- [36] EN 50126 Berichtigung 2:2011-01 – Norm, “Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)”, CENELEC, 2000/2011
- [37] Mattes, K., Schröter, M., Kurzstudie „Wirtschaftlichkeitsbewertung der wirtschaftlichen Potenziale von energieeffizienten Anlagen und Maschinen“, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe, August 2011
- [38] Herrmann, Ch., Kara, S., Thiede, S., „Dynamic life cycle costing based on lifetime prediction“, In: International Journal of Sustainable Engineering, 2011, S. 1-12, 2011
- [39] Denkena, B., Schürmeyer, J., Eikötter, M., „Berücksichtigung temporärer Effekte von Lebenszykluskosten in der Technologiebewertung: Integration der Kapitalwertmethode in Total Cost and Benefits of Ownership“, In: ZWF, 105 (11), S. 959-964, 2010
- [40] Aurich, J. C.; Lauer, Ch., Faltin, M., Schweitzer, E., „Abschätzung der Lebenszykluskosten neu entwickelter Fertigungsprozesse“, In: ZWF, 104 (9), S. 720-724, 2009
- [41] Albrecht, J., „Management der Sachanlagen“ Teile 1-4, Real Estate Object & FM Solutions, 2/08, 3/08, 4/08, 2/09
- [42] Kalusche, W., „Technische Lebensdauer von Bauteilen und wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Gebäudes“, Techn. Universität Cottbus, März 2004
- [43] Albrecht, J., Delstanche, M., Thonnard, R., Schiepers, M., „Étude Lay-Out“, Projet FN-KW, Fabrique Nationale, Liège/B, 1975
- [44] Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, "LUKRETIA, Lebenszykluskosten - Ressourcen - Energie - Technisierung - Gebäudeautomation, Schlussbericht", Stadt Zürich, Juli 2006
- [45] Albrecht, J., Kutschke, E., Studie „Relation von Investition und Folgekosten von Immobilien und Technischen Anlagen – Ist und Soll“, AFK Management Partners, 2002
- [46] Abele, E., Eisele, Ch., „Energieeffiziente Produktionsmaschinen durch Simulation in der Produktentwicklung“, In: ZWF, 105 (11), S. 980-983, 2010
- [47] Herzog, K., „Lebenszykluskosten von Baukonstruktionen“, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, 2005
- [48] Korpi, E., Ala-Risku, T., „Life cycle costing: a review of published case studies“, In: Managerial Auditing Journal, 23 (3), S. 240-261, 2008
- [49] Kuhrke, B., Schrems, S., Eisele, Ch., Abele, E., „Methodology to assess the energy consumption of cutting machines“, Conference Proceedings: CIRP - the International Academy for Production Engineering, 2010
- [50] Lauven, L., Wiedenmann, S., Geldermann, J., „Lebenszykluskosten als Entscheidungshilfe beim Erwerb von Werkzeugmaschinen“, Göttingen, 2010
- [51] Potthoff, J., Bayer Technology Service GmbH, „Ganzheitliches Asset Management entlang des Anlagenlebenszyklus“, VDI-Forum IH, Hamburg, 2011
- [52] Schröter, M., Mattes, K., Kurzstudie: „Wirtschaftlichkeitsbewertung: Bewertung der wirtschaftlichen Potenziale von energieeffizienten Anlagen und Maschinen“, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI; Karlsruhe; 2011
- [53] Albrecht, J., Furler, G., Kutschke, E., „Das Hochhaus zur Schanzenbrücke – Strategisches Nutzungs- und Unterhaltskonzept“, UBS AG / AFK-Management Partners, Zürich, 2003
- [54] ProWerk GmbH, „Entwicklung von Werkzeugmaschinen unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten“, wt Werkstatttechnik online Jahrgang 95, H. 7/8, 2005

- 
- [55] Albrecht, J., „Strategische Ressourcensteuerung im Anlagenbereich“, VDI-Bericht 1991 – Instandhaltung auf dem Prüfstand, S. 273-288, VDI-Düsseldorf, 2007
- 
- [56] Albrecht, J., „Investitions- und Kostenrechnungsmodelle auf dem Weg zu Lebenszykluskosten“ – Projekte aus der Praxis zwischen 1971 -2013 unter anderem bei:  
 - Rowenta GmbH, Offenbach/D – Elektrische Haushaltsartikel  
 - Schloemann-Siemag AG, Düsseldorf und Hilchenbach/D – Schwerstmaschinenbau  
 - Verkehrsbetriebe Zürich – Bereiche Technik Rollmaterial und Infrastruktur  
 - UBS AG – Bereich Real Estate, Zürich  
 - Landesregierung Vorarlberg, Hauptabteilung Strassenbau, Feldkirch/A
- 
- [57] Albrecht, J., „Management der Sachanlagen – Teil 3“, Real Estate Object & RM Solutions – RFM 4/2008, Seiten 5-7, Robe Verlag AG
- 
- [58] Bescherer, F., „Established Life Cycle Concepts in the Business Environment – Introduction and Terminology“, 2005/1, Laboratory of Industrial Management report series, Helsinki University of Technology, 2005
- 
- [59] Lindholm, A., Suomala, P., „The Possibilities of Life Cycle Costing“, In: Outsourcing Decision Making, Proceedings of Business Research Forum, eBRF, Tampere, Finland, 2004
- 
- [60] SN 640 900, „Erhaltungsmanagement (EM); Grundnorm“, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS, 2004
- 
- [61] Keoleian, G. A. et al., „Life-Cycle Cost Model for Evaluating the Sustainability of Bridge Decks“, Proceedings of the International Workshop on Life-Cycle Cost Analysis and Design of Civil Infrastructure Systems, pp. 143-150, 8.-11. 05-2005
- 
- [62] Buncher, M., „Life Cycle Cost Analysis of Engineered Pavements – Understanding The True Costs And Savings With Modified Binders“, Präsentation am Annual Meeting der Association of Modified Asphalt Producers, Las Vegas, 2005
- 
- [63] US Federal Highway Administration, Department of Transportation, „Life-Cycle Cost Analysis Primer“, Washington, 2002
- 
- [64] US Federal Highway Administration, Department of Transportation, „Economic Analysis Primer“, Washington, 2003
- 
- [65] eBKP-T SN 506 512, „Baukostenplan Tiefbau“, CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, 2010
- 
- [66] Bundesamt für Strassen ASTRA, „Betrieb NS – Tätigkeitsverzeichnis, Dokumentation“, ASTRA 86063, Ausgabe 2011 V3.02
- 
- [67] SN 641 826, „Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen“, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS, 2008
- 
- [68] Ecoplan, Metron, „Kosten-Nutzenanalysen im Strassenverkehr“, Forschungsauftrag VSS 2000/342, Forschungsbericht Nr. 1122, Bundesamt für Strassen ASTRA, 2005
- 
- [69] Walls, J. et al., „Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design – In Search of Better Investment Decisions“, Pavement Decision Interim Technical Bulletin, Report FHWA-SA-98-079 for the Federal Highway Administration, Washington, 1998
- 
- [70] Hicks, R. G., „Life cycle costs for asphalt-rubber paving materials“, in Proceedings of the Asphalt Rubber 2000 Conference, Vilamoura (Portugal), Corvallis/Reno, 2000
- 
- [71] Zhang, Y. et al., „Life Cycle Cost Analysis of Bridges and Tunnels“, Construction Research Congress 2005: Broadening Perspectives, pp. 1-9, 2005
- 
- [72] Zhang, Y. et al., „Whole life cycle cost for chicago-type bascule bridges“, Cost engineering, pp. S. 28-32, 2008
- 
- [73] Yunovich, M. et al., „Corrosion of Highway Bridges: Economic Impact and Life-Cycle Cost Analysis“, 2004 Concrete Bridge Conference: Building a New Generation of Bridges, 17-18 Mai 2004
- 
- [74] Ehlen, M., „BridgeLCC 1.0 Users Manual: Life-Cycle Costing Software for Preliminary Bridge Design“, Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 1999
- 
- [75] Setunge, S. et al., „Whole of Life Cycle Cost Analysis in Bridge Rehabilitation“, CRC research report 2002-005-C-03, 2005
- 
- [76] Estes, A. et al., „Repair Optimization of Highway Bridges Using System Reliability Approach“, Journal of Structural Engineering, Bd. 7, Nr. 125, 1999
- 
- [77] Morcoux, G. et al., „Life-Cycle Assessment of Highway Bridges“, Proceedings of the 2002 Taiwan-Canada Workshop on Bridges, April 2002
- 
- [78] Parker, H. W., Reilly, J., „Life cycle cost considerations using risk management techniques“, Proceedings of the International Tunnelling Association, World Tunnel Conference, Budapest, 2009
- 
- [79] Petterson, R., „Observations on LCC – Life Cycle Costs in Nordic Road Tunnels“, Präsentation am Via Nordica Kongress, Reykjavik, 2012
- 
- [80] Bundesamt für Strassen ASTRA, „Richtlinie Anlagenkennzeichnungssystem Schweiz (AKS-CH)“, Ausgabe 2009 V1.00
-

- [81] Amstein + Walthert AG, "Zerfallszyklen von EM-Anlagen", Forschungsauftrag VSS 1999/292, 2006
- [82] Welte, U. et al., „Life Cycle Aspects of Electrical Road Tunnel Equipment“, World Road Association (PIARC), 2012
- [83] SOLIT, „SOLIT Safety of Life in Tunnels, Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen sowie deren Planung, Wissenschaftlicher Abschlussbericht zum SOLIT<sup>2</sup> Forschungsvorhaben“, SOLIT<sup>2</sup> Forschungskonsortium, November 2012
- [84] SOLIT, „SOLIT Safety of Life in Tunnels, Leitfaden zur ganzheitlichen Bewertung von Tunneln mit Brandbekämpfungsanlagen sowie deren Planung, Wissenschaftlicher Abschlussbericht zum SOLIT<sup>2</sup> Forschungsvorhaben; Anhang 6: Lebenszykluskosten technischer Ausrüstung und ganzheitliche Bewertung“, SOLIT<sup>2</sup> Forschungskonsortium, November 2012
- [85] Bundesamt für Strassen ASTRA, „Managementsystem für die Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen der Schweizer Nationalstrassen (EMS-CH), Fachkonzept“, ASTRA 83003, Ausgabe 2012 V4.00
- [86] Karim, H., „Road design for future maintenance – life cycle cost analyses for road barriers“, Stockholm, 2011
- [87] DIW Berlin, Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt, „Wegekosten und Wegekostendeckung des Strassen- und Schienenverkehrs in Deutschland im Jahre 2007“, Berlin, 2009
- [88] Veit, P., „Fahrweginstandhaltung auf Basis von Life-Cycle-Cost Berechnungen“, Graz, 2002
- [89] Steinegger, R., „Lebens-Zyklus-Kosten für bahntechnisches Produkte-Management bei der SBB-Infrastruktur“, Bern, 2005
- [90] Andrade, A. R., „Renewal decisions from a Life-Cycle Cost (LCC) Perspective in Railway Infrastructure: An integrative approach using separate LCC models for rails and ballast components“, Lissabon, 2008
- [91] Australian Asset Management Collaborative Group, „Life Cycle Cost Analysis (LCCA)“, Brisbane, 2008
- [92] Lee, E. et al., „Pavement Type Selection for Highway Rehabilitation Based on a Life-Cycle Cost Analysis: Validation of California Interstate 710 Project“, in: For the 90th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, 2011
- [93] Hall, K. et al., „Guidelines for Life-Cycle Cost Analysis of Pavement Rehabilitation Strategies“, [http://www.ltrc.lsu.edu/TRB\\_82/TRB2003-002524.pdf](http://www.ltrc.lsu.edu/TRB_82/TRB2003-002524.pdf) (Stand: 18. Sept. 2013), 2003
- [94] Jawad, D. et al., „The Discount Rate in Life Cycle Cost Analysis of Transportation Projekts“, National Academy of Science, Washington DC, 2006
- [95] Abay, G., „Diskontsatz in Kosten-Nutzenanalysen im Verkehr“, Forschungsauftrag VSS 2003/201, Forschungsbericht Nr. 1137, Rapp Trans AG, 2006
- [96] UIC Infrastructure Commission, „InfraCost – The Cost of Railway Infrastructure“, Paris, 2002
- [97] LLC, CTC & Associates, „Using Life Cycle Cost Analysis in Highway Project Development“, Caltrans Division of Research and Innovation, 2011
- [98] Hein, D. K. et al., „Life Cycle Cost Comparison for Municipal Road Pavements“, in 9th International Conference on Concrete Block Paving, Buenos Aires, 2009
- [99] Fastrich, A., „Entwicklung, Bewertung und Optimierung von lebenszyklusorientierten Erhaltungsstrategien im Strassenunterhalt“, IBI Institut für Bau- und Infrastrukturmanagement, Zürich, 2011
- [100] SN 640904 „Erhaltungsmanagement (EM) - Gesamtbewertungen von Fahrbahnen, Kunstbauten und technischen Ausrüstungen: Substanz und Gebrauchswerte“, Vereinigung Schweizer Strassenfachleute (VSS), Zürich, 2003
- [101] Land Transport NZ, „Economic Evaluation Manual, Volume 1“, 2006
- [102] ETH Zürich Institut für Baustatik und Konstruktion, Ernst Basler + Partner AG, Risk&Safety AG, „Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten, Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung“, Bundesamt für Strassen ASTRA, Forschungsauftrag AGB 2005/102 auf Antrag der Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB), Forschungsbericht Nr. 618, 2009
- [103] Atkins, „LoBEG Good Practice Guide – Lifecycle Planning for Highway Structures“, London Bridges Engineering Group, 2009
- [104] Zoeteman, A., „Life cycle cost analysis for managing rail infrastructure“, 2001
- [105] Girmscheid, G., „Entscheidungsmodell – Lebenszyklusorientierte Strategiebildung und Unterhaltsvarianten für Strassennetze“, in: Bauingenieur, Juli/August 2007
- [106] Australia National Audit Office, „Life Cycle-Costing, Better Practice Guide“, Canberra, 2001
- [107] Hermann, T. et al., „Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen“, Forschungsbericht Nr. 1244, Bundesamt für Strassen ASTRA, 2008



# Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 16.4.2014 / 21.10.2014

#### Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2011/705  
 Projekttitel: Grundlagen zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassen  
 Enddatum: 21.10.2014

#### Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die Forschungsarbeit legt die Grundlagen für eine einheitliche Anwendung von Lebenszykluskosten (LZK) bei Strassenverkehrsanlagen. Diese Grundlagen bestehen aus einer übergeordneten, weit gefassten, nicht direkt strassenbezogenen Auslegeordnung (Kapitel 2 des Forschungsberichts), aus einem Teil, in welchem die theoretischen Grundlagen für Strassenverkehrsanlagen aufbereitet werden (Kapitel 3 bis 5) sowie einem praxisbezogenen Teil, über welchen der Praktiker schnell Antworten zu methodischen Fragestellungen findet (Kapitel 6). Wichtige Projektergebnisse sind die Folgenden:

- Weltweit und branchenübergreifend existiert keine einheitliche Definition zu LZK und deren Anwendung. Im Rahmen dieses Projekts waren deshalb eigene Definitionen aufzustellen.
- Ziel ist eine Minimierung der LZK bei gegebenem funktionalem Nutzen (Definition)
- Das Instrumentarium zur Minimierung der LZK ist das "Life Cycle Costing" (LCC). Das LCC beschränkt sich nicht auf die reine Analyse, sondern ist eine Gestaltungsaufgabe und ein iterativer Prozess. Funktion und Nutzen sind dabei vorgegeben.
- Zu berücksichtigende Kostenarten sind alle Betreiberkosten innerhalb des Betrachtungszeitraums. Zusätzlich können die volkswirtschaftlichen Kosten bei Nutzern und Dritten aufgrund von Betriebserschwerissen, Belästigungen und Unfällen durch Bau, Unterhalt, Qualitätsmängel und Störungen einbezogen werden. (Definition)
- Die Grundmethodik (Prozessablauf) ist unabhängig von der Entscheidungssituation und für alle Teilsysteme gemäss SN 640 900 dieselbe. Die Details zur Festlegung der geeigneten Bewertungsmethodik, des Betrachtungszeitraums und der Risikoanalyse müssen jedoch situationsbezogen erfolgen. Der Forschungsbericht stellt hierzu ein allgemeines Handbuch dar.
- Einfluss auf das Resultat haben insbesondere die Definition der Systemgrenzen und des Betrachtungszeitraums, die Festlegung der Vorgaben (Nutzungsziele, Qualitätsvorgaben, Budget, etc.) sowie der Umgang mit Trends, Unsicherheiten und Risiken.
- Ein effektives LCC setzt Informationen und Daten in genügender Qualität voraus.

## Zielerreichung:

Die Forschungsarbeit vermittelt die Grundlagen und Inhalte für ein einheitliches Life Cycle Costing im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen in der Schweiz, beinhaltend die Berechnung, Gestaltung und Minimierung der LZK. Dieses Ziel wurde erreicht. Die Forschungsarbeit leistet einen Beitrag zur

- Definition der Grundlagen, Begriffe und Inhalte des Life Cycle Costings im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen
- Klärung des Umgangs mit den Anforderungen und Rahmenbedingungen (Gesetzgebung, Eigentumsverhältnisse, Nutzungsziele, Nutzungsintensität, RAMS, technischer Fortschritt, etc.)
- Beschreibung der Grundlagen für die LCC-Methodik einschliesslich der relevanten Kostenarten
- Klärung von Verfahrensfragen sowie zum Umgang mit Unsicherheiten und Risiken

## Folgerungen und Empfehlungen:

Die Forschungsarbeit hat aufgezeigt, dass zum Life Cycle Costing - auch in der Normung - unterschiedliche Interpretationen existieren. Auf dieser Basis wurden im vorliegenden Bericht die Grundlagen zur Anwendung von LZK bei Strassenverkehrsanlagen gelegt. Da es sich um eine Grundlagenarbeit handelt, konnte nur beschränkt in die Tiefe gegangen und auf Details verschiedener Entscheidungssituationen eingegangen werden. Aus dieser Perspektive zeigt sich folgender weiterer Forschungsbedarf:

- In teilsystem- und/oder planungsstufenspezifischen LCC-Wegleitungen soll vertiefter auf die konkreten Bedürfnisse und Fragen des Anwenders eingegangen werden
- Ein Berechnungstool könnte als Grundgerüst und Praxishilfe für den Anwender dienen
- Ein Schwachpunkt wurde beim Umgang und bei der Quantifizierung und Interpretation von Unsicherheiten und Risiken ausgemacht. Eine Praxishilfe ist wünschenswert.

## Publikationen:

Forschungsbericht im Rahmen der Schriftenreihe VSS/ASTRA

## Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Lüking

Vorname: Jost

Amt, Firma, Institut: R+R Burger und Partner AG

## Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

#### Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Mit der Forschungsarbeit liegen relevante Grundlagen und konkrete Ansätze zur Berechnung und Minimierung der Lebenszykluskosten von Strassenanlagen vor. Der Forschungsbericht stellt ein allgemeines Handbuch zum Life Cycle Costing im Strassenmanagement dar und legt das Fundament für eine einheitliche Anwendungen in der Praxis des Strassenmanagements.

Die Komplexität der Materie und die projektspezifisch unterschiedlichen Bedürfnisse stellen jedoch auch zukünftig hohe Anforderungen an den Anwender in der Praxis. Weitergehende Anwendungshilfen sind deshalb wünschenswert.

Umsetzung:

Im Ergebnis erhält der Manager von Strassenanlagen einen Werkzeugkasten, der ihm hilft, die im LCC-Prozess auftauchenden Fragen zu bearbeiten. Mit dem Forschungsbericht als Handbuch kann sich der Strassenmanager schnell einen Überblick über das methodische Spektrum und die Anforderungen des Life Cycle Costing verschaffen. Dadurch gewinnt der Strassenmanager Zeit und kann den Entscheidungsträgern Methodik und Resultate besser erklären.

weitergehender Forschungsbedarf:

In teilsystem- und/oder planungsstufenspezifischen LCC-Wegleitungen soll vertiefter auf die konkreten Bedürfnisse und Fragen des Anwenders eingegangen werden. Die methodische Einheitlichkeit und Abstimmung mit bestehenden Normen und Instrumenten ist sicherzustellen.

Einfluss auf Normenwerk:

Eine Normierung im Sinne einer Handlungsanleitung ist zu prüfen.

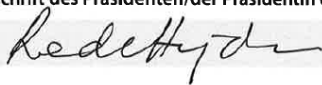
#### Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Hajdin

Vorname: Rade

Amt, Firma, Institut: IMC GmbH

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:





## Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1465	ASTRA 2000/417	Erfahrungen mit der Sanierung und Erhaltung von Betonoberflächen	2014
1462	ASTRA 2011/004	Ermittlung der Versagensgrenze eines T2 Norm-Belages mit der mobiles Grossversuchsanlage MLS10	2014
1460	SVI 2007/017	Nutzen der Verkehrsinformation für die Verkehrssicherheit	2014
1459	VSS 2002/501	Leichtes Fallgewichtsgesetz für die Verdichtungskontrolle von Foundationsschichten	2014
1458	VSS 2010/703	Umsetzung Erhaltungsmanagement für Strassen in Gemeinden - Arbeitshilfen als Anhang zur Norm 640 980	2014
1457	SVI 2012/006	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens	2014
1456	SVI 2012/005	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 4: Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1455	SVI 2012/004	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 3: Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1454	SVI 2012/003	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 2: Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1453	SVI 2012/002	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 1: Einflüsse von Mensch und Gesellschaft auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1452	SVI 2012/001	Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht Phase 1	2014
1451	FGU 2010/006	Gasanalytik zur frühzeitigen Branddetektion in Tunneln	2013
1450	VSS 2002/401	Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln	2014
1449	ASTRA 2010/024	E-Scooter - Sozial- und naturwissenschaftliche Beiträge zur Förderung leichter Elektrofahrzeuge in der Schweiz	2013
1448	SVI 2009/008	Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz. Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt C	2014
1447	SVI 2009/005	Informationstechnologien in der zukünftigen Gütertransportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt E	2013
1446	VSS 2005/454	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung	2013
1445	VSS 2009/301	Öffnung der Busstreifen für weitere Verkehrsteilnehmende	2013
1444	VSS 2007/306	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs	2013
1443	VSS 2007/305	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit des strassengebundenen ÖV	2013
1442	SVI 2010/004	Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr - Vorstudie	2013
1441_2	SVI 2009/010	Zielsystem im Güterverkehr. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz - Teilprojekt G	2013
1441_1	SVI 2009/010	Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber Synthese der Teilprojekte B3, C, D, E und F des Forschungspaketes Güterverkehr anhand eines Zielsystems für den Güterverkehr	2013
1440	SVI 2009/006	Benchmarking-Ansätze im Verkehrswesen	2013
1439	SVI 2009/002	Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP A	2013
1438_2	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 2. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1438_1	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 1. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1437	VSS 2008/203	Trottoirüberfahrten und punktuelle Querungen ohne Vortritt für den Langsamverkehr	2013
1436	VSS 2010/401	Auswirkungen verschiedener Recyclinganteile in ungebundenen Gemischen	2013
1435	FGU 2008/007_OBF	Schadstoff- und Rauchkurzschlüsse bei Strassentunneln	2013
1434	VSS 2006/503	Performance Oriented Requirements for Bituminous Mixtures	2013
1433	ASTRA 2010/001	Güterverkehr mit Lieferwagen: Entwicklungen und Massnahmen Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B3	2013
1432	ASTRA 2007/011	Praxis-Kalibrierung der neuen mobilen Grossversuchanlage MLS10 für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen in der Schweiz	2013
1431	ASTRA 2011/015	TeVeNOx - Testing of SCR-Systems on HD-Vehicles	2013
1430	ASTRA 2009/004	Impact des conditions météorologiques extrêmes sur la chaussée	2013
1429	SVI 2009/009	Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP F	2013
1428	SVI 2010/005	Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B2	2013
1427	SVI 2006/002	Begegnungszonen - eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung	2013
1426	ASTRA 2010/025_OBF	Luftströmungsmessung in Strassentunneln	2013
1425	VSS 2005/401	Résistance à l'altération des granulats et des roches	2013
1424	ASTRA 2006/007	Optimierung der Baustellenplanung an Autobahnen	2013
1423	ASTRA 2010/012	Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge	2013
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1418	VSS 2008/402	Anforderungen an hydraulische Eigenschaften von Geokunststoffen	2012
1417	FGU 2009/002	Heat Exchanger Anchors for Thermo-active Tunnels	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Vieillissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologietransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkierungsanlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labor-massstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010



Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-côtés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDA in SVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kapthaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
660	AGB 2008/002	Indirekt gelagerte Betonbrücken - Sachstandsbericht	2014
659	AGB 2009/014	Suizidprävention bei Brücken: Follow-Up	2014
658	AGB 2006/015_OBF	Querkraftwiderstand vorgespannter Brücken mit ungenügender Querkraftbewehrung	2014
657	AGB 2003/012	Brücken in Holz: Möglichkeiten und Grenzen	2013
656	AGB 2009/015	Experimental verification of integral bridge abutments	2013
655	AGB 2007/004	Fatigue Life Assessment of Roadway Bridges Based on Actual Traffic Loads	2013
654	AGB 2005-008	Thermophysical and Thermomechanical Behavior of Cold-Curing Structural Adhesives in Bridge Construction	2013
653	AGB 2007/002	Poinçonnement des pontsdalles précontraints	2013
652	AGB 2009/006	Detektion von Betonstahlbrüchen mit der magnetischen Streufeldmethode	2013
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlag-schutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009