

## Anwendung von Nutzen-Kosten-Untersuchungen für die gesamtwirtschaftliche Beurteilung von Oberbauvarianten

### 1 Einleitung

Jedes Bauprojekt, welches modernen Erfordernissen gerecht werden soll, hat Aussagen über das Langzeitverhalten zu beinhalten. Es gibt zu jeder Bauweise auch alternative Lösungen, welche natürlich, vom ingenieurmäßigen Standpunkt aus gesehen, alle richtig, aber durch ein unterschiedliches Langzeitverhalten charakterisiert sind. Die Verschiedenheit im Langzeitverhalten kann sich in besonderen Erhaltungserfordernissen, oder zum Beispiel in den Betriebskosten, auswirken.

Aus diesen Gründen hat der Ingenieur technische Alternativen in seine Planungen einzubeziehen und für alle Varianten das Langzeitverhalten technisch zu beschreiben. Die Entscheidung, welchem Projekt der Vorzug gegeben wird, ist dann eine wirtschaftliche.

Dieser Aufsatz ist einer relativ einfachen Fragestellung gewidmet. Für den Straßenoberbau gibt es im Wesentlichen nur zwei gute und ausgereifte Bauweisen, nämlich die bituminöse und die zementgebundene. Die beiden Baustoffe Asphalt und Beton haben entsprechend ihren Grundeigenschaften ein stark unterschiedliches Langzeitverhalten, welches von Verkehrs- und klimatischer Belastung abhängt. Es sollen in der Folge grob die Einsatzbereiche für beide Bauweisen gezeigt werden.

### 2 Nutzen-Kosten-Untersuchungen [1]

Die Richtlinie [1] behandelt zwei Grundformen von Entscheidungshilfen, nämlich

- die nutzwert- und
- die kostennutzenanalytische.

Beide Formen von Entscheidungshilfen können grundsätzlich für die Fragestellungen dieses Aufsatzes dienlich sein. Es ist jedoch die Nutzwertanalyse für komplexere Fragestellungen, wie die Beurteilung einer Straßentrasse, besser geeignet, während die Kosten-Nutzen-Analyse dem Zweck der wirtschaftlichen Beurteilung von Straßenoberbaukonstruktionen sehr gut gerecht wird. Man verwendet die Kosten-Nutzen-Analyse überall dort, wo eine Ermittlung bzw. Monetarisierung von Nutzen- und Kostenkomponenten möglich ist. Diese Ansicht entspricht auch dem internationalen Trend. So arbeitet zum Beispiel das von der Weltbank initiierte Managementmodell „HDM4“ ausschließlich mit kosten-nutzen-analytischen Elementen.

### 3 Kosten-Nutzen-Analyse

Das Wesen der Kosten-Nutzen-Analyse besteht darin, dass man

- eine Prognose bezüglich des technischen Langzeitverhaltens des Bauwerkes erstellt
- die Auswirkungen dieses Langzeitverhaltens auf die „Projektumwelt“ (siehe Punkt 4 dieses Aufsatzes) ermittelt, in monetarisierter Form darstellt (unter Berücksichtigung der Zeitkomponente) und
- schließlich alle Zahlungsflüsse während des gewählten Betrachtungszeitraumes auf einen Betrachtungszeitpunkt zur Herstellung der Vergleichbarkeit bezieht.

Die Kosten-Nutzen-Analyse kann, wenn man nur Investitionen und Kosten (zusätzliche Kosten, welche bei zu vergleichenden Projekten auf-

treten) betrachtet, wie das betriebswirtschaftliche Instrument der Investitionsrechnung behandelt werden. Dabei werden Nutzen als eingesparte Kosten angesehen.

### 4 Ziele des Straßenbaues [2]

Jeder Managementprozess beginnt mit der Definition des anzustrebenden Zieles. Entscheidungsprozesse in Problembereichen, die durch Komplexität, besondere Bedeutung und Neuartigkeit (Innovationsgrad) charakterisiert sind, sollten nach systemtheoretischen Ansätzen behandelt werden. Der Systemanalytiker fordert „teleologische“ Denkprozesse, die kybernetische, polykausale und dynamische Ansätze beinhalten.

Zur Verringerung des Risikos einer Systemfehlplanung erfolgt ein „Vorgehen vom Ganzen zum Teil“. Kernaufgabe ist die Erfassung der Projektumwelt. In Abbildung 1 ist diese für die Wahl der Oberbaukonstruktion dargestellt. Kenntnis der Projektumwelt ist die Voraussetzung für die Zielformulierung, dem ersten Schritt in einem Entscheidungsprozess. Die Durchführung des Entscheidungsprozesses wird nachfolgend beleuchtet.

Die in Abbildung 1 gezeigte Projektumwelt stellt sich in folgender Weise dar:

- **Kapitalgeber:** Dieser muss daran interessiert sein, dass die von ihm zu tragenden finanziellen Lasten während der Zeit der Nutzung minimiert werden.
- **Kunden:** Der Straßenbenützer ist ebenfalls am sorgsamem Umgang mit den von ihm aufgebrachtten Steuern interessiert. Er finanziert schließlich das gesamte System und hat daher das Recht, einzu-

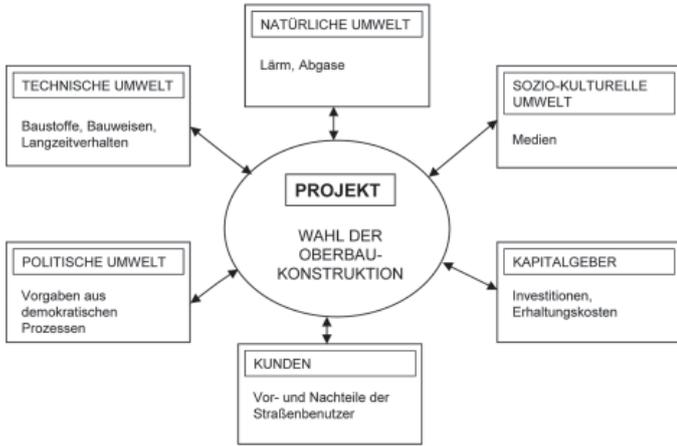


Abbildung 1: Relevante Projektumwelt

fordern, dass auch seine Kosten möglichst niedrig sind.

- **Politische Umwelt:** Es ist möglich und auch legitim, dass in einem demokratischen System politischer Wille in Zielsetzungen einfließt. (Wenn es zum Beispiel ein politisches Ziel ist, Energiekosten zu senken, könnte es notwendig sein, diesen Kostensektor beim Entscheidungsprozess durch höhere Gewichtung zu berücksichtigen.)
- **Technische Umwelt:** Die Berücksichtigung des Langzeitverhaltens von Bauweisen und Baustoffen, oder allenfalls auch zukünftige technische Entwicklungen, ist unabdingbar notwendig.
- **Natürliche Umwelt:** Straßen sollten so gebaut und erhalten werden, dass Schäden nach Möglichkeit vermieden werden.
- **Soziokulturelle Umwelt:** Entscheidungen sollten transparent und für alle Interessengruppen verständlich sein.

Das Projekt für den Straßenoberbau wird nach folgenden Schritten erarbeitet und beurteilt:

- Planung bzw. Dimensionierung von Oberbauvarianten

LASTKLASSE I (3)								
JAHR (n)	$\left(1 + \frac{p-j}{100}\right)^{-n}$	NEUBAU	ERHALTUNG	ABBRUCH	AUFWENDUNGEN			
					BAUTYPE 1		BAUTYPE 3	
					ASPHALT	BETON	ASPHALT	BETON
(%)...RELATIVE BEWERTUNG								
1	2	3	4	5	6	7=2x6	8	9=2x8
1	1,00	X			100,00	100,00	120,00	120,00
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8	0,76		X		25,00	19,00		
9								
10	0,71				25,00	17,75		
11								
12								
13								
14								
15								
16	0,58		X		25,00	14,50	7,00	4,06
17								
18								
19								
20	0,50				25,00	12,50		
21								
22								
23								
24	0,44		X		25,00	11,00		
25								
26								
27								
28								
29								
30	0,36			X	15,00	5,40	20,00	7,20
	SUMME					149,90		131,26
						135,65		131,26

p...Zinsfluss  
 p - j = 3,5%  
 j... Inflationrate

Instandsetzungsintervall i = 8  
 Instandsetzungsintervall i = 10

Abbildung 2: Straßenbaulastträgerkosten

- Ermittlung von Investitionen und Kosten (Straßenbaulastträger-, Straßennutzer- und Umweltkosten); Ermittlung des Zeitpunktes, wann diese Kosten auftreten; Wahl des Betrachtungszeitraumes und des Betrachtungszeitpunktes
- Diskontierung (Beispiel für die Diskontierung siehe Abbildung 2)
- Bewertung (Ermittlung der günstigsten Variante) z. B. mittels Summenkriterium
- Sensitivitätsanalyse zur Feststellung der Stabilität des Ergebnisses

## 5 Langzeitverhalten von Bauweisen und Wissen über Kosten

Für die Dimensionierung des Straßenoberbaues werden im Allgemeinen Standardisierungen herangezogen. In Österreich verwendet man RVS 3.63 [3]. Beim gegenständlichen Thema handelt es sich um einen Vergleich von bituminösen und zementgebundenen Bauweisen. Die standardisierte Dimensionierung geht von Bemessungszeiträumen von 30 Jahren für Betondecken und von 20 Jah-

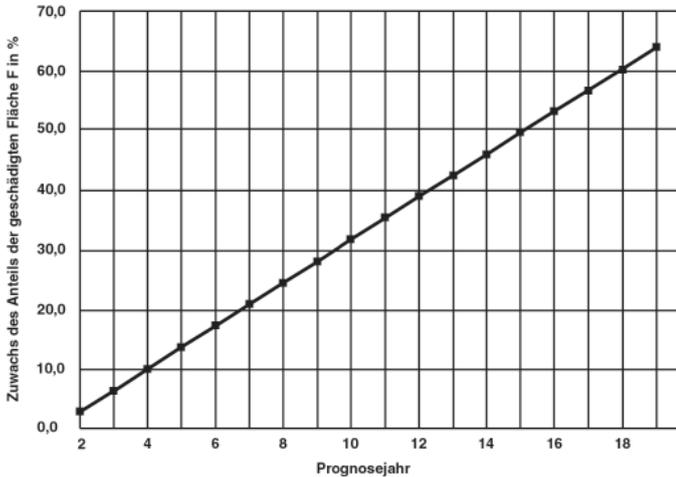


Abbildung 3: Verhaltensfunktion Oberflächenschäden (Asphalt) [5]

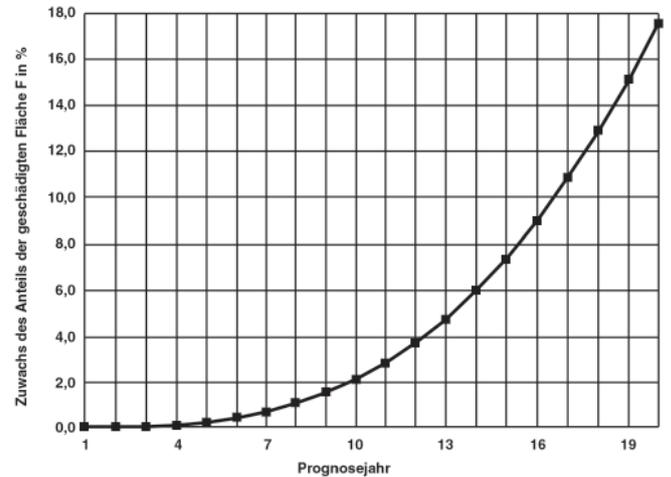


Abbildung 4: Verhaltensfunktion Oberflächenschäden (Beton) [5]

ren für bituminöse Befestigungen aus. Die tatsächliche Nutzungsdauer beträgt für beide Konstruktionen, insofern man nur die ungebundenen und gebundenen Tragschichten betrachtet, > 30 Jahre bis >> 30 Jahre [4].

Dies bedeutet:

- Asphaltbauweise:
  - Die Nutzungsdauer beträgt für alle ungebundenen und gebundenen Tragschichten 30 Jahre.
  - Für die Deckschicht ist die Nutzungsdauer < bis << 30 Jahre. Sie ist eine Funktion der Anzahl der Normlastübergänge.
- Betonbauweise:
  - Die Nutzungsdauer beträgt für alle Tragschichten (ungebunden und gebunden) 30 Jahre bis > 30 Jahre. Die Betondecke hat die zweifache Funktion als Trag- und Deckschicht zu erfüllen.

Daraus kann man für die Gesamtnutzungsdauer für beide Konstruktionsarten 30 Jahre (für Betondecken allenfalls mehr als 30 Jahre) angeben. 30 Jahre ist somit auch ein sinnvoller

Ansatz für die Wahl des Betrachtungszeitraumes. Während dieses Zeitraumes kann bei richtiger Dimensionierung angenommen werden, dass bei Betondecken neben kleineren Instandhaltungsarbeiten lediglich eine Erneuerung der Fugenabdichtung notwendig wird (nach ~15 Jahren). Die bituminöse Deckschicht ist jedoch jeweils nach ~10 Jahren zu erneuern. Dieses Intervall kann jedoch bei hohem Schwerlastverkehr erheblich kürzer sein.

### 5.1 Straßenbaulastträgerkosten

Aus den Vorbemerkungen kann man den Bedarf an Erhaltungsnotwendigkeiten nach der Erstinvestition in folgender Weise beschreiben:

- **Asphaltstraßen**  
Instandsetzung der Deckschicht in Intervallen von ~10 Jahren, Gesamterneuerung nach 30 Jahren
- **Betondecken**  
Erneuerung der Fugenabdichtung nach ~15 Jahren, Gesamterneuerung nach 30 oder > 30 Jahren

Anmerkung: Instandhaltung in beiden Fällen vernachlässigbar.

Die Bewertung in Währungseinheiten erfolgt unter Verwendung von Preisstatistiken oder Ausschreibungsergebnissen.

Zur genaueren Ermittlung von Instandsetzungsintervallen werden Verhaltensfunktionen herangezogen. Zwei Beispiele für derartige Funktionen seien hier angeführt (siehe Abbildungen 3 und 4).

Bei Abbildung 3 handelt es sich um eine Funktion für eine mittlere Lastklasse.

Die Funktion nach Abbildung 4 entspricht ungefähr Lastklasse S lt. RVS 3.63.

Anmerkung: Bei Betrachtung der beiden Funktionen der Abbildungen 3 und 4 ist der unterschiedliche Maßstab zu beachten!

### 5.2 Straßennutzerkosten

Setzt man Instandsetzungszeitpunkte so rechtzeitig an, dass keine wesentlichen zusätzlichen Nutzerkosten, verursacht durch die Verschlechterung der Fahrbahn, entstehen, so kann man die Berechnung vereinfachen

bzw. vernachlässigen. Nicht vernachlässigbar sind jedoch Zeitkosten, verursacht durch Baustellenbehinderungen. Eine Verlängerung der Reisezeit lässt sich für den Berufsverkehr (vereinfacht: den Schwerverkehr) pekuniär bewerten (Löhne, Abschreibungen und Verzinsungen). Diese Zeitkosten wären in die Tabelle nach Abbildung 2 aufzunehmen.

Eine weitere Belastung entsteht für den Straßennutzer aus der Tatsache, dass schwere Achslasten auf flexiblen Befestigungen eine höhere Deflektion verursachen. Damit ist ein erhöhter Rollwiderstand und in der Folge ein erhöhter Treibstoffverbrauch verbunden. Zur Abschätzung der Größenordnung dieses Problems dient Abbildung 5.

Diese Kosten sind ebenfalls zu bewerten. Ein etwa um 10 % höherer Treibstoffverbrauch zulasten des Schwerverkehrs ist ein nicht zu übersehender Faktor, der zur Wahrung von Straßennutzerinteressen ins Kalkül zu ziehen ist.

### 5.3 Umweltkosten

Umweltkosten lassen sich aus Energiebilanzen für die Herstellung einer Fahrbahn, aus dem Fahrbahnzustand und aus baustoffspezifischen Eigenschaften ableiten. Die monetäre Bewertung ist allerdings schwierig, man kann jedoch diese Auswirkungen in einer nutzwertanalytischen Beurteilung bei der endgültigen Entscheidungsfindung berücksichtigen. Das heißt, in einer zusätzlichen verbalen Beurteilung können diese nur schwer zu monetarisierenden Probleme wie bei einer Wirkungsanalyse, ein Ergebnis noch besser untermauern.

**TABLE 2. FUEL CONSUMPTION RESULTS FOR FULLY LOADED TRUCKS (SI units)**

Speed (km/h)	100		75		60	
Pavement	Asphalt	Concrete	Asphalt	Concrete	Asphalt	Concrete
<b>Temp °C</b>	<b>Estimated L/100 km</b>					
-20	50	45	40	37	35	34
-10	48	43	38	36	34	32
0	46	41	37	34	32	30
10	44	39	35	33	31	29
20	41	37	34	31	29	27
30	39	35	32	30	28	26
40	37	33	31	28	26	24
<b>Temp °C</b>	<b>% Difference from Concrete</b>					
-20	12.2%	-	6.6%	-	5.9%	-
-10	11.9%	-	6.9%	-	6.0%	-
0	11.6%	-	7.2%	-	6.1%	-
10	11.3%	-	7.6%	-	6.3%	-
20	11.0%	-	7.9%	-	6.4%	-
30	10.6%	-	8.3%	-	6.6%	-
40	10.2%	-	8.8%	-	6.9%	-

Note: A positive percentage difference means a higher fuel usage on asphalt.

Abbildung 5: Treibstoffverbrauch auf Asphalt- und Betondecken [6]

## 6 Vergleichende Beurteilung der wichtigsten Bauweisen

Beide Bauweisen (bituminöse und zementgebundene) sind ausgereift und entsprechen ihrem Zweck. Es hat jedoch jede ihre Vorzüge und ist für entsprechende Einsatzgebiete vorteilhafter als die jeweils andere einsetzbar. Das Kriterium für die Wahl liegt in der Länge des Instandsetzungsintervalls. Es sei angemerkt, dass man die Gesamtnutzungsdauer auch für bituminöse Befestigungen mit 30 Jahren (siehe Punkt 5 dieses Aufsatzes) ansetzen kann. (Die in der RVS 3.63 [3] angegebene Bemessungsperiode von 20 Jahren brächte, so man sie bei Investitionsrechnungen verwendet, starke nicht gerechtfertigte Nachteile für den Asphaltstraßenbau.) Bei der Erhaltung der Asphaltstraße verkürzen sich mit zunehmender Verkehrsbelastung die Instandsetzungsintervalle und damit

ist eine Erhöhung der Gesamtkosten auf der Straßenbaulasträger- und der Straßennutzerseite verbunden. Hinzu kommen zusätzliche Nachteile für die Umwelt. Das heißt, dass bei Straßen mit hohem Schwerverkehrsanteil die Betondecke der Vergleichsbauweise überlegen ist. Da Asphalte zur Regenerierung eine Verkehrsbelastung unbedingt notwendig haben, sind zementgebundene Befestigungen auf kaum befahrenen Straßen (landwirtschaftliches Wegenetz, unter Umständen auch auf Parkplätzen) die wirtschaftlichere Bauweise.

**Obwohl man grundsätzlich jeden Einzelfall neu in der aufgezeigten kosten-nutzen-analytischen Weise untersuchen sollte, sei festgestellt, welche Ergebnisse zu erwarten sind:**

- **Die Betondecke ist bei Straßen mit hohem Schwerverkehrsanteil der Asphaltdecke aus wirt-**



# ÖSTERREICHISCHE BETONDECKEN - ARGE



A-8055 Graz, Lagergasse 346 Tel. +43 (316) 220 180, Fax + (316) 220 188 E-Mail: franz.lecker@betondeckenbau.at



**schaftlicher Sicht überlegen. Dies gilt für Lastklasse S und wahrscheinlich auch I.**

- **Die Betondecke ist wirtschaftlich bei Straßen mit sehr geringer Verkehrsbelastung (Feld und Forstwege).**
- **Hinzu kommen Sonderanwendungen der Betondecke (zum Beispiel Fahrbahnen in Tunnelstrecken, Abstellflächen für den Schwerlastverkehr, Kreisverkehrsanlagen).**

## 7 Zusammenfassung

Die Wahl der Straßenoberbaukonstruktion hat, entsprechend dem Willen des Gesetzgebers, unter Berücksichtigung der **Dimension „Zeit“** nach **„gesamtwirtschaftlichen Zielen“** zu erfolgen. Es sind für die zur Diskussion gestellten Ausführungsvarianten alle relevanten Investitionen und

Kosten, welche während eines Betrachtungszeitraumes anfallen, zu ermitteln. Die endgültige Entscheidung erfolgt zweckmäßigerweise nach einem Summenkriterium. Zieldefinition und Entscheidungsfindung haben auf jeden Fall transparent zu sein.

## 8 Literatur

- [1] Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Straßenforschung, Heft 202: Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen – Entscheidungshilfen in der Verkehrsplanung, 1982,
- [2] Patzak, G.: Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme, Grundlagen, Methoden, Techniken. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1982.
- [3] Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr (FSV), Arbeitsgruppe „Straßenoberbau“, Arbeits-

ausschuss „Bemessung des Oberbaues“, Wien 2005.

- [4] Pichler, W.: Straßenzustandsbewertung und die Entscheidung über Erhaltungsmaßnahmen an Oberbaukonstruktionen, Heft 22 des Institutes für Straßenbau und Verkehrsplanung der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Innsbruck 1992.
- [5] Ribensam, J.; Schulze, F.: Auswertung von Langzeitbeobachtungsdaten zur Beantwortung von Fragestellungen des Managements der Straßenerhaltung, PM-Consult im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bonn; Berlin 1994.
- [6] National Research Council of Surface Transportation Technology Ottawa, ON: Effect of Pavement Type on Fuel Consumption, 2000.