

Walter Pichler

Betondecke – die wirtschaftliche Fahrbahnbefestigung für schwer belastete Straßen

22

Univ.-Doz. DI Dr. Walter Pichler

Technikum Kärnten Forschungs GmbH

Straßen, wie auch alle anderen Bauwerke der Infrastruktur, beeinflussen eine Vielzahl von Bereichen des Lebens in einem Land. Die Aufgaben, die Straßen zu erfüllen haben, sind vielfältigster Art und aus diesem Grunde sind auch alle Entscheidungsprozesse, die damit im Zusammenhang stehen, äußerst komplex.

Das Thema „Wahl der Oberbaukonstruktion“ ist – wie viele andere im Bereich von Straßenbau und Straßenerhaltung – geeignet, es einer objektiven Beurteilung zu unterziehen.

1. Einleitung

Die Entscheidungslast trifft im Allgemeinen, da fast alle Verkehrswege von öffentlichen Körperschaften gebaut und erhalten werden, die öffentliche Hand. Die Verantwortung für Entscheidungen ist entsprechend der Komplexität der Aufgabenstellung sehr groß und darf nicht auf die leichte Schulter genommen werden. Eine dieser Entscheidungen – es ist sicher eine von einfacherer Art – ist die bezüglich der Wahl der Oberbaukonstruktion.

Der bestimmende Parameter ist im Material, in dessen Eigenschaften und vor allem im Langzeitverhalten begründet. Gute Materialkenntnis ist daher die erste Voraussetzung für eine sachliche Entscheidung.

Entscheidungsprozesse in Problembereichen, die durch Komplexität (starke Vernetzung, Interdisziplinarität), besondere Bedeutung (hohe Relevanz für den Handlungsträger, der das Projekt abzuwickeln hat und die Projektsumwelt) und Neuartigkeit (Innovationsgrad und Risiken sind zu beachten.) charakterisiert sind, sollten nach systemtheoretischen Ansätzen behandelt werden [1]. Der Systemanalytiker fordert „teleologische“ Denkprozesse, die kybernetische, polykausale und dynamische Ansätze beinhalten. Zur Verringerung des Risikos einer Systemfehlanalyse erfolgt ein Vorgehen vom „Ganzen zum Teil“. Kernaufgabe ist die Erfassung der Projektsumwelt. In Ab-

bildung 1 ist diese für die Wahl der Oberbaukonstruktion dargestellt. Kenntnis der Projektsumwelt ist die Voraussetzung für die Zielformulierung ab dem ersten Schritt in einem Entscheidungs- bzw. Managementprozess. Die Durchführung dieses Entscheidungsprozesses soll in den nachfolgenden Kapiteln beleuchtet werden.

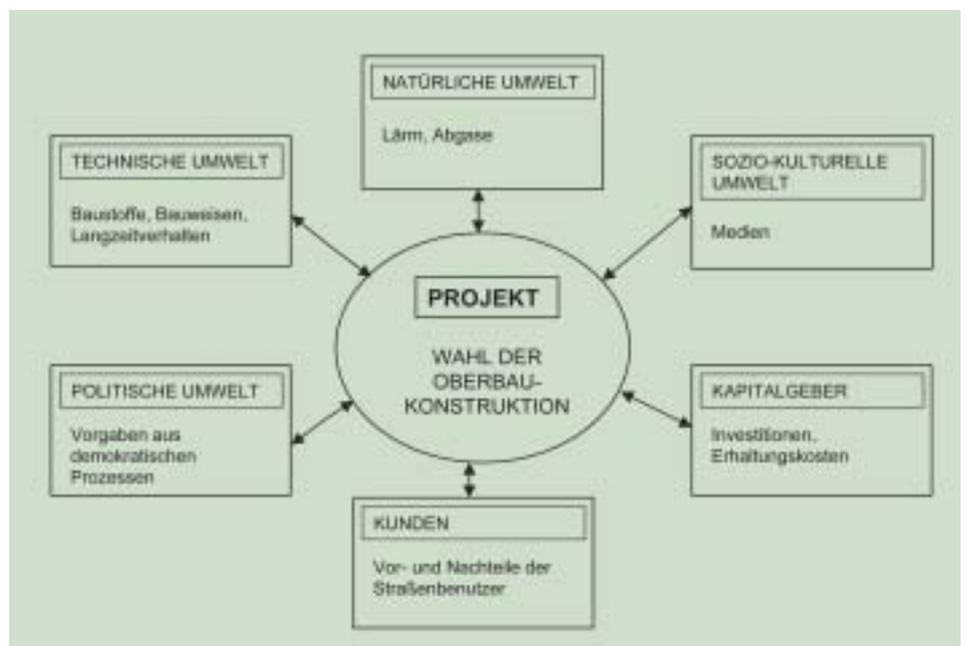
2. Entscheidungshilfen

Hinter dem Begriff „Nutzen-Kosten-Untersuchungen“ stehen zwei Arten von Entscheidungshilfen und zwar

- nutzwertanalytische [2] und
- kostennutzenanalytische [2].

(Es gibt aber auch Mischformen.)

Abb. 1 Relevante Projektsumwelt



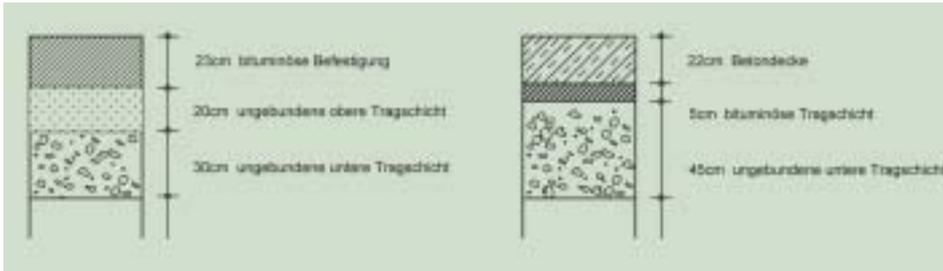


Abb. 2 Bautypen 1 u. 5 (Lastklasse I)

Grundsätzlich lassen sich beide Systeme auf alle Fragestellungen bei Straßenbau und Straßenerhaltung anwenden. Es gibt jedoch Vor- und Nachteile bei bestimmten Problemen der einen oder der anderen Methode. Die Nutzwertanalyse ist gut geeignet, komplexe Entscheidungssituationen, bei denen Monetarisierungen erschwert oder unmöglich sind, zu lösen. Dies ist zum Beispiel bei der Wahl einer Straßen-trasse der Fall. Die Kosten-Nutzen-Analyse hingegen wendet man bei komplexen Entscheidungssituationen, bei denen eine Monetarisierung der Kosten- und Nutzenkomponenten möglich und auch wünschenswert ist, an. Sie betrifft alle Entscheidungen, die sich beim Neubau auf Alternativen (bautechnischer Art) oder die Erhaltung beziehen. Die Anwendung der Kosten-Nutzen-Analyse soll in weiterer Folge näher betrachtet werden.

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

- eine Prognose bezüglich des Langzeitverhaltens des Bauwerkes erstellt
- die Auswirkungen dieses Langzeitverhaltens auf die „Projektumwelt“ ermittelt und in monetarisierter Form darstellt (Berücksichtigung der Zeitkomponente) und
- schließlich alle Zahlungsflüsse während des gewählten Betrachtungszeitraumes (Investitionen und Kosten) auf einen gewählten Betrachtungszeitpunkt durch Auf- bzw. Abzinsung bezieht (Diskontierung). (Eine Vereinfachung des Verfahrens kann dadurch erreicht werden, dass man Nutzen als eingesparte Kosten ansieht.)

Am Beginn jeder Nutzen-Kosten-Untersuchung steht jedoch die Zielformulierung,

3. Projektumwelt und Zielformulierung

In Abbildung 1 wurde die Umwelt des Projektes „Fahrbahnbefestigung“ dargestellt. Dieses ist nun im Detail zu behandeln, bzw. die Monetarisierungsmöglichkeit zu untersuchen.

3.1 Technische Umwelt

Im Rahmen dieses Aufsatzes sollen nur Bautype 1 und Bautype 5 (erstere: bituminöse Befestigung; zweite: Betondecke), jeweils für die Lastklasse I betrachtet werden (siehe Abbildung 2) [3]. Beide Bauweisen sind ausgereift und gut, sind jedoch entsprechend dem unterschiedlichen Langzeitverhalten auch für unterschiedliche Bereiche einsetzbar. Ein Vergleich der beiden Bauweisen zeigt, dass für das Kriterium Tragfähigkeit Gleichwertigkeit insofern gegeben ist, als bei ausreichender Dimensionierung die Nutzungsdauer mit > 30 bis >> 30 Jahre angegeben werden kann. (Diese Aussage steht im Widerspruch zur zitierten RVS 3,63, ist aber belegbar [4].) Die große Unsicherheit bei der oberen Grenze der Zeitangaben ist bei einer Beurteilung mittels der Kosten-Nutzen-Analyse wegen des Diskontierungsmechanismus bedeutungslos. Der wesentliche Unterschied liegt im Verhalten der Deckschicht bei der Asphaltbauweise. Die Betondecke erfüllt die Funktion der Decke und der Tragschicht. Die Nutzungsdauer von > 30 bis >> 30 Jahre gilt also bei Bautype 5 für den gesamten Oberbau bis zur Fahrbahnoberfläche. Bei der Asphaltbauweise ist die Deckschicht gesondert zu betrachten und die Nutzungsdauer dieser wird mit zunehmender Verkehrslast kleiner. Die Asphaltdecke gibt infolge von Verformungen

oder von Rissen Anlass zu Instandsetzungen in Intervallen von < 30 bis << 30 Jahren [5]. Dieselbe Erkenntnis ist aus einer Untersuchung der PM-Consult abzuleiten [6]. Die mittleren Instandsetzungsintervalle können lt. [6] mit 10,7 angegeben werden. Die Größenordnung der Intervalle gibt Schmuck [7] für zweibahnige Straßen mit 5 bis 10 Jahren an. Anlass für Instandsetzungen geben, abgeleitet vom Schadensbild, entweder hohe Instandhaltungskosten, die auf Seite des Baulastträgers (zum Beispiel durch Risse) oder auf Seite des Straßenbenützers (zum Beispiel erhöhte Unfallwahrscheinlichkeit infolge Spurrinnen) entstehen. Man hat also bezüglich der Beurteilung der technischen Umwelt eine Prognose für die Nutzungsdauer der Deckschicht bzw. der Instandsetzungsintervalle zu erstellen. Damit ist die wesentlichste Grundlage für die kosten-nutzen-analytische Erfassung der Baulastträgerkosten geschaffen.

Unter Straßenbaulastträgerkosten versteht man

- Neubau-
- Instandhaltungs- (in D Unterhaltungs-/ in CH Unterhalts-)
- Instandsetzungs- und
- Erneuerungskosten.

Das unterschiedliche Verhalten der beiden Bauweisen ist in den unterschiedlichen Materialeigenschaften von Beton und Asphalt begründet.

3.2 Natürliche Umwelt

Die Gewinnung von Baustoffen und der Einbau sind nicht ohne Energieverbrauch denkbar. Die Kosten dafür, die auf der Baulastträgerseite letztendlich anfallen, sind erfasst (siehe Punkt 3.1.), nicht aber die allfällige Umweltbeeinträchtigung. Ein Beispiel für die Ermittlung des Energieverbrauches ist in Abb. 3 dargestellt. Die Verwendung des Diagramms zeigt für die beiden Varianten einen unterschiedlichen Energiebedarf:

- Bautype 1 ... 625 MJ/m² = 175 kWh/m²
- Bautype 5 ... 480 MJ/m² = 134 kWh/m²

Abb. 3 Gesamtenergieverbrauch bei Neubaumaßnahmen [9/10]

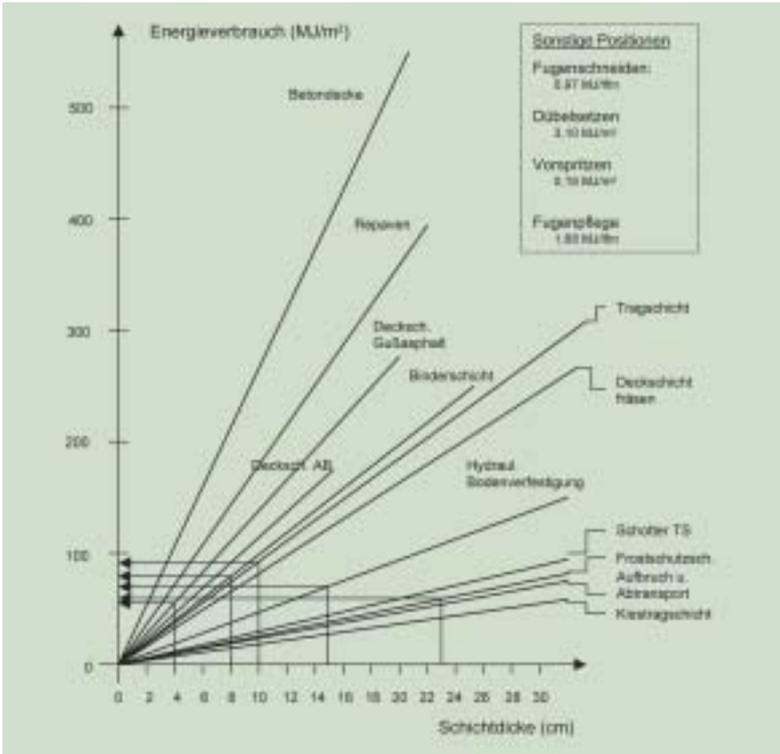


Abb. 4 Straßenbausträgerkosten

LASTKLASSE I (3)														
JAHR (t)	$\left(1 + \frac{p-j}{100}\right)^{n-t}$					NEUBAU	ERHALTUNG	ABBRUCH	AUFWENDUNGEN					
	1	2	3	4	5				ASPHALT	BETON	ASPHALT	BETON		
1						X			100,00	100,00	120,00	120,00		
2		1,00												
3														
4														
5														
6														
7														
8			0,76			X			25,00	10,00				
9														
10					0,71				25,00	17,75				
11														
12														
13														
14														
15														
16					0,58	X			25,00	14,50	7,00	4,00		
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									149,00	136,95	131,20	131,20		

p - Zinssatz
 $p - j = 3,5\%$
 j - Inflationssatz
 Instandsetzungsintervall $i = 8$
 Instandsetzungsintervall $i = 10$

Der Nachteil der Betondecke (Bautype 5) von 41 kWh/m² gegenüber der bituminösen Bauweise (Bautype 5) wird noch in Kapitel 4 näher beleuchtet.

Abgasbelastungen entstehen aber nicht nur bei der Herstellung bzw. Gewinnung von Baumaterialien und beim Einbau, sondern auch bei Verschlechterung der Ebenheit der Fahrbahn, ein unvermeidlicher Prozess während der Nutzung. Durch Ebenheitsmangel erhöht sich der Rollwiderstand und damit verbunden der Treibstoffverbrauch. Funktionale Beziehungen sind erforscht [9].

Bei bituminösen Befestigungen verursachen Lastkraftwagen eine hohe Deflektion; dies ist ebenfalls eine Ursache für einen erhöhten Rollwiderstand und somit für höheren Treibstoffverbrauch. Eine Folge ist die zusätzliche Umweltbelastung durch Abgase.

Bei Geschwindigkeiten über ca. 50 km/h (PKW) ist das Rollgeräusch eine wesentliche Lärmursache. Die Entwicklung desselben hängt von der Oberflächentextur ab, die ebenfalls durch Alterung nachteilige Veränderungen erfahren kann.

3.3 Kunden

Die nächstliegenden Kunden beim Projekt „Wahl der Oberbaukonstruktion“ sind die Straßennutzer, nämlich die Autofahrer. Um ihren Wünschen gerecht zu werden, müssen die Fahrbahnen im Wesentlichen fahrzeugschonend und kostensparend befahrbar sein, aus dem Zustand der Fahrbahn darf kein erhöhtes Unfallrisiko entstehen, und Baustellenbehinderungen sind möglichst zu minimieren.

Gute Ebenheit in Längsrichtung hilft zur Erfüllung der ersten Forderung. Griffigkeitsmangel und/oder Spurrinnen (Ebenheitsmangel im Querschnitt) erhöhen die Unfallwahrscheinlichkeit. Baustellenbehinderungen bringen Zeit- und Unfallfolgekosten. Aus der zeitlichen Behinderung, vor allem des Berufsverkehrs, entstehen für die Wirtschaft zusätzliche Lohn- und Fahrzeugkosten.

Letztere sind bei stark befahrenen Straßen (mit hohem Anteil an Schwerlastverkehr) die entscheidendsten. Sie bringen wegen der kürzeren Instandsetzungsintervalle besondere Nachteile bei Bautype 1.

3.4 Kapitalgeber

Die Interessen des Kapitalgebers liegen auf der Hand, denn dieser will seine finanziellen Beiträge möglichst effizient eingesetzt sehen. Die Summe von Investitionen und Kosten soll weitgehend gering sein. Das heißt, dass die zu erwartenden Veränderungen (Verschlechterungen des Zustandes) während der Nutzung sich derart gestalten, dass die Aufwendungen für die Erhaltung nicht zu hoch werden. Die Bedeutung des Zeitpunktes von Zahlungsflüssen wurde bereits unter Pkt. 2. erwähnt.

3.5 Politische Umwelt

Der Aufsatz behandelt öffentliche Straßen. Es sind daher in Entscheidungsprozesse auch Politiker eingebunden. Politiker sind in einem demokratischen System berechtigt und auch verpflichtet, Entscheidungsvorgaben zu liefern oder auch Entscheidungen zu treffen. Wichtig ist dabei nur die Transparenz. Der die Entscheidung vorbereitende Ingenieur hat bestrebt zu sein, Objektivität in höchstem Maße walten zu lassen. Im Falle

einer Kosten-Nutzen-Analyse gewichtet er alle entscheidungsrelevanten Parameter nach tatsächlichen Auswirkungen in monetären Einheiten. Der Politiker ist legitimiert, zum Beispiel in die Bewertung – entsprechend einem Auftrag, der von den Staatsbürgern kommt – einzugreifen. Ein solcher Auftrag oder ein derartiges politische Ziel könnte „Energiesparen“ lauten. Dieses politische Ziel hieße dann höhere Gewichtung des Parameters „Energie“ durch Multiplikation eines diesbezüglichen objektiv festgestellten Geldwertes mit „n“.

3.6 Sozialkulturelle Umwelt

Eine entsprechende Öffentlichkeitsarbeit durch Information der an der Straße interessierten Umwelt kann Rückwirkungen auf das System haben.

3.7 Zielformulierung

Vereinfacht kann das Ziel, wie folgt, formuliert werden: „Sämtliche Entscheidungen über Maßnahmen, Methoden oder Zeitpunkt der Erhaltung öffentlicher Straßen sind unter Bedachtnahme auf gesamtwirtschaftliche Interessen zu treffen. Insbesondere sind neben den Kosten für die Erhaltungsmaßnahme, über die entschieden werden soll, Nutzen und Kosten von Straßenbenutzern zu berücksichtigen. Hinzu kommen Nutzen und Kosten der Umwelt“ [4].

Die Zielerfüllung soll durch monetäre Bewertungen gemessen werden.

4. Kostennutzenanalytische Betrachtung

Die Projektumwelt laut Pkt. 3.5 und 3.6 soll in der weiteren Betrachtung keine Rolle spielen. Entsprechend dem formulierten Ziel wird das Kapitel 4. nach

- Straßenbaulastträger-,
 - Straßennutzer- und
 - Umweltkosten
- gegliedert.

4.1 Straßenbaulastträgerkosten

In Abbildung 4 ist in Form einer Tabelle die Berechnung der Straßenbaulastträgerkosten, die während eines Betrachtungszeitraumes von 30 Jahren anfallen, unter Berücksichtigung der Auswirkungen der „Dimension Zeit“ dargestellt. Die Preise sind als relative Zahlen eingesetzt [11]. Es zeigt sich, dass für die Lastklasse I der Bautype 5 aus Gründen der Wirtschaftlichkeit der Vorzug zu geben ist. Für Lastklasse 5 erhöht sich die Wirtschaftlichkeit in verstärktem Maße. Selbstverständlich können diese Aussagen nur grobe Anhaltspunkte bieten. Es sind nämlich in jedem Fall projektspezifische Untersuchungen vorzunehmen (siehe auch [8]). Zur genauen Untersuchung, die sich auf ein bestimmtes Projekt bezieht, gehört vor allem eine möglichst gute Verkehrsprognose mit einer gewissenhaften Abschätzung des Schwerverkehrsanteiles. Schließlich sind ausreichende Sensitivitätsanalysen durchzuführen.

4.2 Straßennutzerkosten

Mit einer vereinfachenden Annahme soll dieser Punkt eingeleitet werden. Setzt man den Instandsetzungszeitpunkt so rechtzeitig an (Annahme für die Instandsetzungsintervalle „i“), dass der Fahrbahnzustand (zeitbedingt verschlechtert) noch keine erheblichen Unfallfolgekosten und noch keine erhöhten Betriebskosten für die Kraftfahrzeuge verursacht, so kann man beide Kostenarten vernachlässigen. Eine zu späte Instandsetzung bringt zwar eine Entlastung des Baulastträgers, aber mit Sicherheit eine Belastung des Straßennutzers und auch der Umwelt.

Nicht vernachlässigbar sind jedoch die bei Bautype 1 durchzuführenden Instandsetzungen. Die Baustellenbehinderungen, die selbstverständlich sowohl bei Neubau als auch bei Erneuerung auftreten, bringen für die Instandsetzungen zusätzliche Kosten für den Nutzer. Es sind dies vor allem Zeitkosten.

Direkt und exakt berechenbar sind diese für den Berufsverkehr in Form von Lohnkosten sowie Abschreibung und Verzinsung der Kraftfahrzeuge. Die Basis bildet die zusätzliche Reisezeit, abgeleitet von der Geschwindigkeitsreduzierung im Baustellenbereich. (Hinzu kommen Kosten, verursacht durch eine baustellenbedingt höhere Unfallwahrscheinlichkeit.) Die Zeitkosten schlagen erfahrungsgemäß sehr stark zu Buche und erhärten das unter Pkt. 4.1 berechnete Ergebnis.

4.3 Umweltkosten

Es sollen hier nur zwei Arten von Umweltbelastungen behandelt werden:

- Umweltkosten, resultierend aus der Herstellungs- und Einbaunotwendigkeit
- Betriebskosten für Kraftfahrzeuge infolge unterschiedlicher Eigenschaften der Decke

Wie unter Punkt 3.2 gezeigt wurde, ist die Herstellung der beiden Bautypen 1 und 5 mit unterschiedlichem Energiebedarf verbunden.

Die Herstellung der Betondecke verursacht größeren Energiebedarf. Eine Umrechnung

	Betondecke	625 MJ/m ²	
	Asphaltdecke	490 MJ/m ²	
		Beton	Asphalt
Energieträger	kg CO ₂ /MJ	kg CO ₂ /m ³	kg CO ₂ /m ³
Benzin	0,08	50,0	58,4
Butan	0,07	43,8	33,6
Dieseldiesel	0,07	43,8	33,6
Heizöl EL	0,07	43,8	33,6
Koks	0,12	75,0	57,6
Durchschnitt		51,3	39,4
Differenz Beton/Asphalt		11,9 kg CO ₂ /m ²	0,012 t CO ₂ /m ²
Carbon-Credits	Euro/t CO ₂	Unterschied Euro/m ²	
Markt	Min	Max	Min
Eu-Emissionshandel	5	10	0,06
Stafe		100	1,188

Abb. 5 Energiebedarf in CO₂-Werten

der Werte in MJ/m² bzw. kWh/m² in CO₂ und diese wiederum monetarisiert ausgedrückt, zeigt, dass selbst die Annahme von Maximalwerten eine Vernachlässigung rechtfertigt (siehe Abbildung 5). Die Werte liegen weit unter der Genauigkeit, die mittels der Berechnung lt. Punkt 4.1 überhaupt möglich ist.

Eine weitere Umweltbelastung entsteht aus der Tatsache, dass schwere Achslasten auf flexiblen Befestigungen eine höhere Deflektion verursachen. Damit ist ein erhöhter Rollwiderstand verbunden. Dies bringt vermehrten Treibstoffverbrauch und damit verbunden eine größere Umweltbelastung mit sich [13]. Im Forschungsbericht [13] wird der erhöhte Treibstoffverbrauch mit ca. 6 % bis 12 % in Abhängigkeit von Geschwindigkeit (60 km/h bis 100 km/h) und Temperatur in °C angegeben. Es ist dies eine beachtliche Kostensteigerung zum Nachteil von Bautype 1, die natürlich auch erhöhte Straßennutzerkosten verursacht.

4.4 Gesamtergebnis

Es zeigt sich eindeutig, dass die Zementbetondecke für schwerst belastete Straßen Vorteile gesamtwirtschaftlicher Art bringt. (Es wurde hier lediglich ein Beispiel, nämlich Lastklasse I, betrachtet. Für die Lastklassen II und III ist diese allgemeine Aussage sicher nicht mehr zutreffend.)

Eine generelle Aussage sollte man nicht machen, sich aber bei jedem Projekt der Mühe einer genauen Untersuchung unterziehen. Es sollten nach genauer Verkehrsanalyse möglichst alle hier nur angedeuteten Parameter in das Projekt einfließen. Sensitivitätsanalysen kommt eine besondere Bedeutung zu.

5. Eine nutzwertanalytische Variante der Beurteilung [14]

Beschreibt man im Rahmen von Funktionsausschreibungen die Qualität, die während der Zeit der Benützung zu garantieren ist, so wahrt die ausschreibende Stelle Interessen des Straßennutzers und der Umwelt. Die Wahl der Fahrbahnbefestigung kann man in diesem Falle den anbietenden

Bauunternehmen überlassen. Anzubieten sind also Neubau und Erhaltung während eines festgelegten Zeitraumes (20 bis 30 Jahre). Der Bauunternehmer wird selbstverständlich daran interessiert sein, seine Aufwendungen zu minimieren. Er wird größten Wert darauf legen, mit geringen Erhaltungskosten das Auslangen zu finden. Er wahrt Straßenbaulasträgerinteressen. Die anderen Interessenten (Nutzer und Umwelt) vertritt der Funktionsbauvertrag. Es gab erste Versuche mit dieser Ausschreibungsart in „Rheinland-Pfalz“ und „Baden-Württemberg“. Es zeigt sich, dass die anbietende Bauindustrie offensichtlich zu ähnlichen Ergebnissen, wie hier aufgezeigt, kommt. Es sei jedoch festgestellt, dass unbedingt noch mehr an Erfahrung mit Funktionsausschreibungen gewonnen werden muss. Es ist dies sicher ein vielversprechender Weg zur Objektivierung der Problematik.

6. Zusammenfassung

Obwohl genügend an theoretischen Grundlagen vorhanden ist, ist die Bereitschaft, diese anzuwenden, noch immer gering. Festgestellt sei jedoch, dass eine objektive Betrachtung möglich ist und die Verpflichtung dem Steuerzahler gegenüber eine Anwendung aller wissenschaftlichen Erkenntnisse erzwingen wird müssen.

Abschließend kann man für die Entscheidungsfindung folgende Anforderungen verlangen:

- Transparenz
- Berücksichtigung der Komponente Zeit
- Erfassung möglichst des gesamten Projektsumfeldes

7. Literatur

- [1] Patzak G.: Systemtechnik-Planung komplexer innovativer Systeme, Grundlagen, Methoden, Techniken. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1982.
- [2] Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Straßenforschung, Heft 202: Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen – Entscheidungshilfen in der Verkehrsplanung, 1982

- [3] Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen FVS im ÖIAV, Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau, RVS 3,63, Bautechnische Details – Oberbau, Wien, dzt. gültige Fassung.
- [4] Pichler W.: Straßenzustandsbewertung und die Entscheidung über Erhaltungsmaßnahmen an Oberbaukonstruktionen, Schriftenreihe des Institutes für Straßenbau der Universität Innsbruck, Heft 22, 1992.
- [5] Dohr G., Piber H., Pichler W.: Surface Damage and Whole Economic Costs, 5th Enrobituminal Congress 16–18 June 1993 Stockholm, Volume 1B, Summaries and Papers, Session 4.
- [6] Ribensam J., Schulze F.: Auswertung von Langzeitbeobachtungsdaten zur Beantwortung von Fragestellungen des Managements der Straßenerhaltung, PM-Consult im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bonn; Berlin 1994.
- [7] Schmuck A.: Strategiemodellverfahren zur Ermittlung des Finanzbedarfes für die Erhaltung des Straßenoberbaues, Schlussbericht zum Forschungsauftrag 9.045 R83M des Bundesministers für Verkehr, 1983
- [8] Forschungsgemeinschaft Straße und Verkehr, RVS 2.21 Entscheidungshilfen – Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Oberbaukonstruktionen im Straßenbau
- [9] Schmuck A.: Straßenerhaltung mit System – Grundlagen des Managements, Kirschbaumverlag, Bonn, 1987
- [10] Pohle G., Beyert J.: Aufstellung einer Energiebilanz für verschiedene Oberbauweisen im Straßenbau/Lehrstuhl für Baumaschinen und Baubetrieb. Aachen: RWTH Aachen, 1983. – Schlussbericht zum Forschungsauftrag 9.039 des Bundesministers für Verkehr (unveröffentlicht)
- [11] Amt der Kärntner Landesregierung: Baupreisstatistik (unveröffentlicht)
- [12] BMG Engineering AG „Kennzahlen der Energieträger und Energienutzung“, Wirkungsgrade der Energienutzung (CO₂).
- [13] National Research Council of Surface Transportation Technology Ottawa, ON: Effect of Pavement Type on Fuel Consumption, 2000.
- [14] Kappel F.: Funktionsbauverträge – Erwartungen der Bauwirtschaft, Fachzeitschrift „Griffig“, Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton e.V, Köln-Marienburg, 1/2003