

**TU**

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN**

**DIPLOMARBEIT**

**Master's Thesis**

# **Berücksichtigung von Zeitkosten der Straßennutzer in der systematischen Straßenerhaltungsplanung**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-  
Ingenieurs unter der Leitung von

o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Johann Litzka  
und Univ.Ass. Dipl.-Ing. Barbara Brozek,  
Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung,

eingereicht an der Technischen Universität Wien,  
Fakultät für Bauingenieurwesen,  
von

Petya Tsolova  
610/0327173  
Bulgarien, Botevgrad, Tsar Osvoboditel 16

Wien, 10.03.09

Unterschrift

## Kurzfassung

Auf Grundlage von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen kann im Rahmen der systematischen Straßenerhaltungsplanung oder auch des Pavement Managements die Auswahl der Erhaltungsstrategien im Straßenwesen getroffen werden. Das Bedürfnis nach einem solchen System entsteht aus den ständig steigenden Erhaltungskosten, die von einer Straßenzustandsminderung des schon gut entwickelten Straßennetzes verursacht werden.

Immer mehr werden bei der Erhaltungsplanung auch die Kosten der Straßennutzer berücksichtigt. Sie nehmen sowohl einen beträchtlichen Teil vom Budget der Straßennutzer als auch des Staats ein und das bedingt die große Bedeutung der Nutzerkosten. Ihre Bestandteile sind die Betriebs-, Zeit- und Unfallkosten. Eine wichtige Einflussgröße bei der Auswahl der Erhaltungsmaßnahmen sind die Zeitverluste der Straßennutzer.

Das Ziel der Diplomarbeit „Berücksichtigung von Zeitkosten der Straßennutzer in der systematischen Straßenerhaltungsplanung“ ist die Darstellung der Möglichkeiten für die Berechnungen der Zeitverluste. Solche Mittel werden in den deutschen „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen“, den österreichischen „Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Oberbaukonstruktionen im Straßenbau“ und dem „Highway Development and Management Model“ der Weltbank dargestellt. Sie werden in der Diplomarbeit systematisiert und ihre Besonderheiten, ihre Einflussgrößen und ihre Berechnungsbedingungen werden festgelegt und beschrieben.

## **Abstract**

Economic studies are the basis for the selection of conservation strategies in the road sector, which are used within the systematic planning of the road maintenance or Pavement Management Systems. The need for such systems results from the increasing maintenance costs, which are caused by the deteriorating condition of the already well-developed road network.

The road user costs become more and more significant in Pavement Management Systems. They take a considerably part of the budget of the road users as well as of the state which reflects the importance of the user costs. Their components are the costs of vehicle operation, travel time and accidents. An important influence factor in the selection of maintenance measures is the time loss of the road users.

The aim of the thesis: "Consideration of time costs of road users in the systematic planning of the road maintenance" is the description of the possibilities for the calculations of the time loss. Such tools are presented in the German study for "Recommendations for an efficiency of the investigations on roads", in the Austrian "Economics studies of the road constructions" and the World Bank guide "Highway Development and Management Model". They are in the thesis systematized and their characteristics, their influences and their calculation conditions are defined and described.

## Кратко изложение

Въз основа на икономическите изследвания в рамките на систематизираното поддържане на пътища или Система за управление състоянието на пътните настилки (СУПН) могат да се изберат стратегии за поддържане в областта на пътното строителство. Влошеното състояние на пътищата при добре развита пътна мрежа води до постоянно нарастващи разходи за поддържане и до нуждата от една такава система. Все по-често при планирането на дейности за поддържане се вземат предвид разходите на потребителите на пътя. Те заемат съществена част както от бюджета на потребителите, така и от този на държавата и това определя значимостта им. Те се разделят на експлоатационни разходи, разход на време и разходи породени от пътнотранспортни произшествия. Важно влияние при избора на стратегия за поддържане имат загубите на време на потребителите на пътя.

Целта на дипломната работа „Отчитане разход на време на потребителя на пътя при систематизираното поддържане на пътища” е представяне на възможностите за изчисление на загубите на време. Средствата за това са описани в немските „Препоръки за икономически изследвания на пътищата” (EWS), в австрийските „Икономически изследвания на връхни конструкции в пътното строителство” (RVS 03.08.71) и в „Модел за развитие и управление на пътищата” (Highway Development and Management Model, HDM) на Световната банка. Характеристиките, величините и условията за пресмятане на разходите на време са установени, систематизирани и описани в дипломната работа.

## **Vorwort**

Die vorliegende Diplomarbeit entstand am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien im Rahmen eines Doppel-Degree Studiums zwischen der Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie Sofia und der Technischen Universität Wien. Diese Projektstudie bildet den Abschluss meines Bauingenieurstudiums mit Vertiefung in Richtung "Straßenerhaltung".

An dieser Stelle möchte ich o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Dr.h.c. Johann Litzka danken, für die Möglichkeit meine Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung an der Technische Universität Wien zu schreiben.

Großer Dank gilt auch Univ. Ass. Dipl.-Ing. Barbara Brozek für die ausgezeichnete und engagierte Betreuung während meiner Diplomandentätigkeit.

Für die Unterstützung während meines Studiums bedanke ich mich ebenso bei der Fakultät für Straßenbau an der UABG-Sofia.

Mein besonderer Dank gilt der STRABAG AG für die finanzielle Unterstützung meines Studiumsaufenthalts in Wien.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die stets Verständnis für meine studentischen Tätigkeiten gezeigt hat und mir in jedem Moment geholfen hat.

# INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG .....	6
2. SYSTEMATISCHE STRASSENERHALTUNG.....	8
2.1 Allgemeines.....	8
2.2 Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) .....	8
2.3 PMS in Österreich.....	9
2.3.1 Datenbank.....	11
2.3.2 VIAPMS_AUSTRIA .....	12
3. NUTZERKOSTEN .....	13
3.1 Allgemeines.....	13
3.2 Betriebskosten .....	14
3.3 Zeitkosten .....	15
3.4 Unfallkosten .....	15
4. BERÜCKSICHTIGUNG DER ZEITVERLUSTE.....	18
4.1 Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS) .....	18
4.1.1 Allgemeines .....	18
4.1.2 Berechnung des Nutzen/Kosten - Verhältnisses (NKV).....	20
4.1.3 Bestimmung der Nutzen .....	22
4.1.3.1 Berechnung der Nutzen.....	22
4.1.3.2 Zeitkostensatz .....	23
4.1.3.3 Fahrzeit .....	24
4.1.3.4 Maßgebende Verkehrsstärke.....	25
4.1.4 Bestimmung der Kosten .....	28
4.2 RVS 03.08.71 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Oberbaukonstruktionen im Straßenbau.....	30
4.2.1 Allgemeines .....	30
4.2.2 Ausgaben.....	30
4.2.3 Zeitkosten für Lkw - Verkehr .....	31
4.2.3.1 Baustellenbedingte tägliche Zeitkosten ( $Z_B$ ) ohne Wartezeiten .....	32
4.2.3.2 Baustellenbedingte tägliche Zeitkosten ( $Z_B$ ) mit Wartezeiten .....	33
4.2.4 Sensitivitätsanalyse .....	35
4.2.5 Die Ergebnisdarstellung in der RVS .....	35
4.3 Highway Development and Management Model (HDM).....	36
4.3.1 Allgemeines .....	36
4.3.2 Zeitkosten infolge der geschädigten Längsebenheit.....	36
4.3.2.1 Bestimmung der Geschwindigkeit infolge der geschädigten Längsebenheit.....	37
4.3.2.2 Bestimmung der Reisezeiten infolge der Unebenheiten .....	39
4.3.2.3 Bestimmung der zusätzlichen Zeitkosten .....	40
4.3.3 Work Zone Effects Model [] .....	40
4.3.3.1 Die Wirkungen der Baustelle .....	41
4.3.3.2 Beschreibung des Simulationsmodells.....	42
4.3.3.3 Berechnung der Zusatzzeit infolge der Geschwindigkeitsänderung .....	47
4.3.3.4 Bestimmung der Zeitkosten .....	49
4.4 Resümee der drei Untersuchungssysteme.....	52
5. ANWENDUNGSBEISPIEL .....	54
5.1 Lösung der Aufgabe nach den EWS.....	55
5.2 Lösung der Aufgabe nach der RVS 03.08.71 .....	60
5.3 Lösung der Aufgabe nach dem HDM .....	61
5.4 Schlussfolgerung .....	65
6. ZUSAMMENFASSUNG .....	67
LITERATURVERZEICHNIS .....	70

# 1. EINLEITUNG

Straßenerhaltung ist eine wichtige wissenschaftliche und wirtschaftliche Aufgabe, die bald nach dem Bau einer neuen Straße für die Behörde, Ingenieure, Wirtschaftler und anderen Spezialisten im Vordergrund steht. Sie sorgen dafür, dass die Straßennutzer: Fahrer, Fußgänger und andere Verkehrsteilnehmer einen guten Komfort, große Sicherheit und ausreichende Leistungsfähigkeit auf der Straße und in ihrer Umgebung haben.

Unter dem Begriff Straßenerhaltung versteht man alle Maßnahmen, die für die Substanzerhaltung, die Erhaltung des Gebrauchswertes und die Verbesserung der Umweltbedingungen getroffen werden. Sie umfasst die folgenden Tätigkeiten:

- Zustandskontrolle: Beobachtung und Kontrolle des Zustandes des Straßenkörpers und aller zugehörigen Bauteile
- Betriebliche Straßenerhaltung: dazu gehören z. B. Wartung, Winterdienst, Grünpflege etc.
- Bauliche Straßenerhaltung: sie ist mit baulichen Tätigkeiten verbunden und teilt sich in Instandhaltung, Instandsetzung und Erneuerung

Damit man diese Ziele erreichen kann, muss man über die entsprechenden notwendigen finanziellen Mittel verfügen. Das ist schon eine Herausforderung für jeden Staat und jeden Baulasträger. Hier entstehen die Fragen: Wie viel Geld steht der Straßenerhaltung zur Verfügung? Was ist die optimale Entscheidung mit den entsprechenden finanziellen Ressourcen? Wie kann man diese Entscheidung finden? Welche Straßen oder Straßennetze benötigen sofort eine Erhaltung? Wie erstelle ich eine Dringlichkeitsreihung? Diese Aufgaben sind die Grundlage der Straßenerhaltungsplanung.

Die Straßenerhaltung entwickelt sich stets mit den Jahren. Sie existierte noch nicht mit den ersten projektierten Straßen. Die Erhaltung wurde zuerst intuitiv, ohne Untersuchungen durchgeführt. Sie wurde nur aus der technischen Sicht gesehen, weil die Erhaltungsausgaben nicht so hohe Werte wie die heutigen erreichten. Die Entscheidungsfindung für die Straßenerhaltung wurde subjektiv und ohne grundsätzliche Forschung und Analyse realisiert.

Heutzutage kosten diese Entscheidungen schon viel Geld. Das Straßennetz jedes Landes ist sehr entwickelt und größtenteils muss man nicht neue Straßen bauen, sondern die alten erhalten. Der Aufwand an finanziellen Mitteln für die Straßenerhaltung beginnt eine große Rolle zu spielen. Die Kosten steigen dauernd an und nehmen eine vorrangige Stelle bei der Aufteilung des Budgets ein. Diese stetige Entwicklung und die steigende Bedeutung der Straßenerhaltung fordert eine bessere und verantwortliche Organisation des baulichen und wirtschaftlichen Handelns.

Die optimale Straßenerhaltung ist eine im Voraus geplante und gut untersuchte Ingenieuraufgabe. Sie wird als systematische Straßenerhaltung oder als Pavement Management System (kurz PMS) bezeichnet. Das Pavement Management System strebt eine optimale Erhaltung des Straßennetzes bei begrenzten Finanzmitteln an. Deshalb muss man die beste Entscheidung mit dem entsprechenden Budget, das

der Staat dafür bestimmt, finden. Mit geringeren finanziellen Aufwendungen müssen optimale bauliche Maßnahmen für das Erreichen von ausreichendem Fahrkomfort, Sicherheit, Leistungsfähigkeit und gutem Substanzzustand getroffen werden.

Ziel der vorliegenden Diplomarbeit ist eine tiefgründige Untersuchung des Pavement Management Systems und seiner Entwicklung über die Zeit. Ein Hauptteil ist die Berücksichtigung der Zeitkosten im Rahmen der systematischen Straßenerhaltung in Österreich und die Zusammenstellung von Modellen, die in anderen Ländern angewandt werden, sowie deren Rolle im PMS. In der Arbeit werden die verschiedenen Einflussfaktoren und Kostensätze formuliert und untersucht. Der Schwerpunkt liegt auf der Berücksichtigung der Zeitverluste, Erklärung dieses Begriffes, Bestimmung der Wichtigkeit der Zeitkosten bei der Straßenerhaltung, Vergleich mit den anderen Nutzerkosten, ihre Berechnung mit verschiedenen Methoden und wie sie in verschiedenen Ländern bei der systematischen Straßenerhaltung angenommen werden.

## 2. SYSTEMATISCHE STRASSENERHALTUNG

### 2.1 Allgemeines

Nach dem Zweiten Weltkrieg konnten sich das Straßennetz und die Automobilindustrie sehr rasch entwickeln. Der Verkehr hat stark in den letzten Jahren zugenommen und das führte zu einer großen Straßenbeanspruchung. Damit die Straßen als Bauwerk noch über große Zeiträume diese Belastung aufnehmen konnten, musste man sie periodisch warten und erhalten. Das forderte auch einen wesentlichen Teil - je nach dem Umfang des Straßennetzes - vom Budget jedes Industriestaats. Hier entstand die Idee für die Umsetzung einer systematischen Straßenerhaltung (zumeist in Form eines Pavement Management System). Diese Bezeichnung war erstmals Ende der 60er Jahre für die Beschreibung der Erhaltung des Straßenoberbaus angewandt worden. Damals war dieser Begriff nicht sehr bekannt und von vielen Ländern nicht anerkannt.

### 2.2 Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD)

Das Pavement Management stand nach dem Ausbau des Straßennetzes in den industrialisierten Ländern im Vordergrund. Es sollte in einer systematischen Vorgangsweise aufgrund des gegenwärtigen Oberbauzustandes durchgeführt werden. Das Problem des steigenden Erhaltungsbedarfs mit dem entsprechenden Finanzbedarf und die Notwendigkeit für eine Verminderung dieser Kosten spiegeln sich in den Aufgaben der OECD - Organisation für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, die am 14. Dezember 1960 in Paris gegründet wurde, wieder. Die Politik dieser Organisation ist darauf gerichtet, in den Mitgliedstaaten unter Wahrung der finanziellen Stabilität eine optimale Wirtschaftsentwicklung und Beschäftigung sowie einen steigenden Lebensstandard zu erreichen und dadurch zur Entwicklung der Weltwirtschaft beizutragen [1]. Einige von den Hauptaufgaben der OECD sind auf den Gebieten der Wirtschaftlichkeit, der Gesellschaft, der Finanz, der Innovation und so weiter. Auch das Straßenforschungsprogramm ist ein Projekt der Organisation. Dreizehn Mitgliedstaaten fassten ihre Kenntnisse über PMS zusammen. Es wurde festgestellt, dass die ersten Management Modelle Mitte der siebziger Jahre erarbeitet wurden. Kanada und die USA zeigten eine rasche Entwicklung auf diesem Gebiet und eine große Vielfalt von unterschiedlichen Pavement Management Modellen, die für die europäischen Mitgliedstaaten als Grundlage dienen.

Das Straßenforschungsprogramm, das im Rahmen der OECD erarbeitet wurde, hatte zwei Hauptteile [1]:

- Die internationale Zusammenarbeit für die Schaffung von Entscheidungsgrundlagen, die die Regierungen bei Problemen im Bereich des Straßenwesens und für die zukünftigen Straßenerhaltungsstrategien anwenden könnten.

- Das Programm für Information und Dokumentation (IDS), das den weltweiten Austausch von Information über wissenschaftliche Literatur und Forschungsprojekte ermöglicht.

Eine Vielzahl von Mitgliedsstaaten stellte Information über den Aufwand für die Oberbauerhaltung zur Verfügung und entwickelte eine gemeinsame Datenbank. Bei dem Vergleichen der Erhaltungskosten wurde es festgestellt, dass diese für die Oberbauten einen maßgeblichen Teil des Erhaltungsbudgets einnahmen. Das war die Ursache für die Systematisierung des Pavement Managements, weil man einen Überblick über den Oberbauzustand und seine Entwicklung haben wollte und die optimale Variante für Instandsetzung oder Erneuerung unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit und der gesellschaftlichen Bedürfnisse wählen konnte.

Der Forschungsarbeit, die die Mitgliedstaaten durchführten, sind die folgenden Teile eines vollständigen Pavement Management Systems zu entnehmen [1]:

- Rahmen eines vollständigen PMS
- Optimierungskonzept: allgemeine Grundlage
- Aspekte der Oberbautechnologie
- Nutzerkosten und soziale Kosten
- Datenbank für ein Pavement Management System
- Aufwendung auf verschiedenen Ebenen
- Zukünftige Entwicklung

Jeder Mitgliedsstaat berichtete über jeden Abschnitt die Kenntnisse, die mit den Jahren gesammelt wurden. Sie wurden zusammengefasst, so dass dies eine Grundlage für weitere Untersuchungen im Bereich Straßenerhaltung ermöglichte.

## 2.3 PMS in Österreich

Österreich als ein Mitgliedstaat der OECD entwickelte mit den Jahren sehr erfolgreich seine Industrie, sein Straßennetz, seinen Straßenbau und als Folge davon seine systematische Straßenerhaltung (Pavement Management System). Die ersten tiefgründigen Schritte in diesem System wurden erst im Jahre 1998 begonnen. Es wurde vom Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten (heute Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, BMVIT) und der ASFINAG (Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft) eine Arbeitsgruppe gebildet, die das moderne PMS praktisch anwandte. Die Forschung auf dem Gebiet der systematischen Straßenerhaltung wurde vom Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien (ISTU) übernommen. Der Auftrag zwischen ISTU und BMVIT zielte darauf ab, ein computerunterstütztes Managementsystem für die Straßenerhaltung (VIAPMS) sowie eine Datenbank zur Verwaltung und Aufbereitung von straßenrelevanten Daten (VIABASE) aufzubauen und bei den Erhaltern (Länder und Sondergesellschaften) zu implementieren [2].

Die Notwendigkeit für diese Forschung ergab sich durch die Erhöhung der Zahl der Verkehrsteilnehmer und damit dem zunehmenden politischen Druck zur Verbesserung des Straßennetzes. Die Politiker verstanden, dass die schlechten Straßen nur Negatives für sie brachten. Die Bürger wollten die Steuer und die

Mauten, die sie bezahlten, richtig - für die Straßenerhaltung - eingesetzt wissen. Auch heute ist die Straßenerhaltung eng mit der Politik und mit den politischen Entscheidungen, die von objektiven Beurteilungskriterien unterstützt werden müssen, verbunden.

Die österreichischen Bundesstraßen zeigten in den letzten zehn Jahren einen schlechten Zustand und das forderte eine Veränderung der Erhaltungsplanung. Diese Aufgabe galt es von den Erhaltern (Länder und Autobahngesellschaften) und der Bundesverwaltung zu lösen. Sie mussten ein bundesweit einheitliches Pavement Management System aufbauen, das auch als Grundlage für zukünftige Erhaltungsstrategien benutzt werden konnte.

Das Pavement Management System, mit welchem sich das ISTU beschäftigt, ist ein so genanntes Modernes Pavement Management System. Das ist ein komplexes System, mit dem man als Lösung eine optimale Erhaltungsstrategie für ein Straßennetz, einen Straßenzug oder einen Straßenabschnitt finden kann. Das ist mit der Hilfe von einer Reihe von Abläufen und Algorithmen, die als „PMS-Bausteine“ bezeichnet werden, möglich. Grundelemente sind die folgenden [3]:

- Datenbank zur Speicherung der erhaltungsrelevanten Daten
- Modelle des PMS (Zustandsprognosemodelle, Kostenmodelle, etc.)
- Randbedingungen für Datenanalyse (Maßnahmenkatalog, Budgetvorgaben, etc.)
- Analyse für die Durchführung der Optimierungsaufgaben
- Darstellung der Analyseergebnisse

Eine Übersicht der Bausteine des PMS ist auch in Abbildung 1 dargestellt.

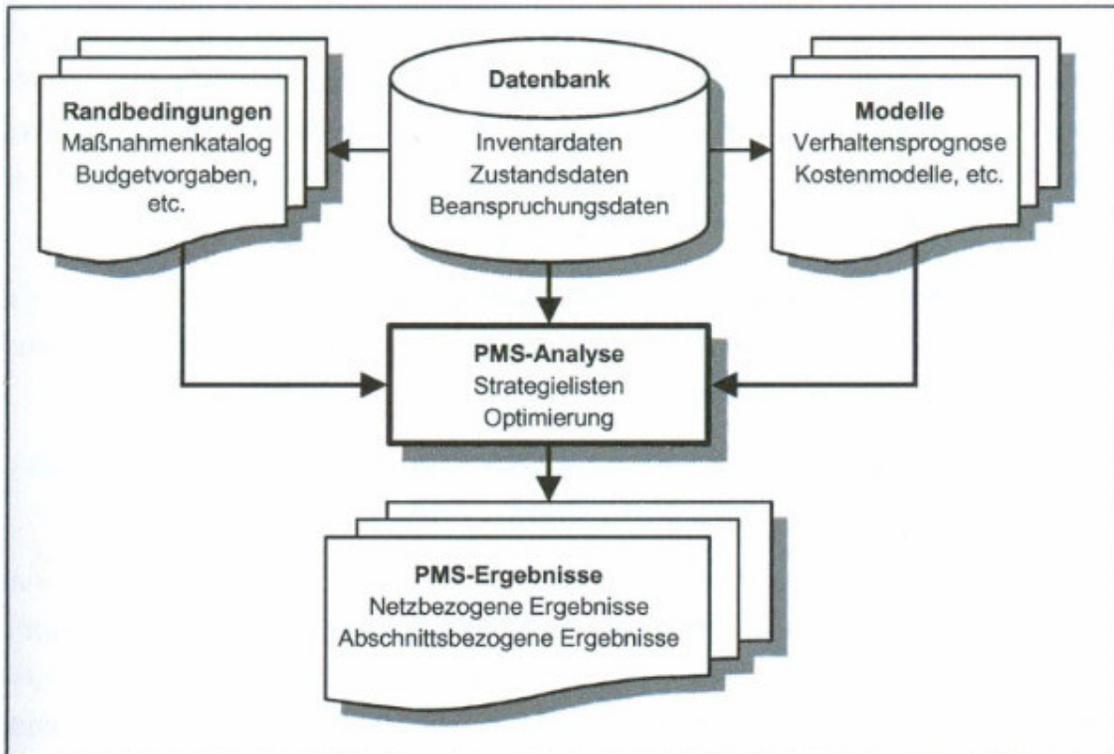


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Bausteine eines Modernen Pavement Management Systems (3)

Bei den Modernen Management Systemen wird die Ermittlung der Erhaltungsstrategie computerunterstützt durchgeführt, weil sie aus vielen komplizierten Berechnungen bestehen. Diese computerisierten Berechnungen stellen Ergebnisse zur Verfügung, die als Grundlage für eine nachfolgende Ingenieurentscheidung für die richtige Straßenerhaltung dienen. Es ist wichtig, dass man nicht nur Computer-, sondern auch Bauingenieurkenntnisse hat, um diese Resultate zu interpretieren und wenn es notwendig ist, auch zu korrigieren.

Die Software, die in Österreich für das höchstrangige Straßennetz benutzt wird, wird von dem Schweizer Unternehmen VIAGROUP AG vertrieben. Das Produkt selbst wurde von der Fa. Deighton Associates Limited in Kanada entwickelt.

### 2.3.1 Datenbank

Die Grundlage für die systematische Straßenerhaltung ist eine gut gefüllte Datenbank des Straßennetzes. Sie beinhaltet Informationen über den Verlauf des Straßennetzes, den Straßenzustand, den Straßenaufbau, die Verkehrsbelastung und das Klima. Für eine einfache Benutzung der Datenbank werden diese Daten in drei Ebenen unterteilt. Sie sind in einer Hierarchie geteilt, wo die oberste Ebene die Perspektiven sind. Danach sind die Logische Datengruppen und die dritte Ebene sind die Datenfelder. Die Daten werden in Form von Datensätzen in die Datenfelder geschrieben. Die Struktur der Datenbank ist die folgende: Der Datensatz besitzt eine Eigenschaft, die durch die Perspektive (Punkt- und Abschnittsinformation u. a.)

und das Datenfeld (Text, Zahl) definiert wird, und die Logischen Datengruppen gliedern die Informationen besser.

Die Datenbank muss jedes Jahr aktualisiert und erweitert werden, weil sich das Straßennetz, der Straßenoberbau, der Verkehr und weitere Parameter in Österreich laufend verändern. Die Bearbeitung der Daten aus der Datenbank und die Ergebnisse davon sind notwendig für weitere Berechnungen. Sie sind die Eingangsgrößen für das Analysesystem VIAPMS\_AUSTRIA.

### 2.3.2 VIAPMS\_AUSTRIA

Bei dem Modernen Pavement Management System wird die Straßenzustandsentwicklung prognostiziert. Das wird mit der Hilfe von Zustandsprognosemodellen und aufgrund der Datenbank ermöglicht. Mit VIAPMS\_AUSTRIA werden diese Daten analysiert und durch Berechnungsalgorithmen, Zustandsprognosemodelle, Erhaltungsmaßnahmen, etc. bearbeitet. Die Komponenten des Systems VIAPMS\_AUSTRIA sind die folgenden [3]:

- Bewertungsverfahren des Straßenzustandes
- Straßenzustandsprognose
- Verfahren zur Erzeugung alternativer abschnittsbezogener Erhaltungsstrategien
- Nutzen-Kosten-Untersuchungen für die Maßnahmenbeurteilung
- Heuristische Optimierungsverfahren

Hierbei wird ein Optimierungsverfahren bei der Datenanalyse benutzt. Das bedeutet, dass durch eine Kombination aller möglichen Erhaltungsvarianten unter den entsprechenden Randbedingungen die Lösung gefunden wird. Diese Lösung muss einen Optimierungsparameter (Maximum oder Minimum) besitzen. Das Ergebnis ist die „optimierte Dringlichkeitsreihung“, diese entspricht einer Liste der Erhaltungsmaßnahmen für den entsprechenden Straßenabschnitt, die im Rahmen des verfügbaren Budgets optimaler Weise durchgeführt werden sollten. So stehen dem Erhalter verschiedene Erhaltungsvarianten zur Verfügung.

## 3. NUTZERKOSTEN

### 3.1 Allgemeines

Für die Berücksichtigung der Kosten bei der Straßenerhaltung werden in den verschiedenen Ländern die entsprechenden lokalen Grundsätze übernommen. Sie haben eigene Wirtschaftlichkeitskriterien für die Beurteilung der optimalen Straßenerhaltungsmaßnahmen. Mit diesen Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen werden die Investitionsausgaben bestimmt und die Erhaltungsmaßnahmen werden zur leichteren Entscheidungsfindung der Investoren verglichen und in Dringlichkeitsreihenungen umgesetzt.

Die Grundlage für die volkswirtschaftliche Beurteilung von Straßenbauinvestitionen in Deutschland sind die „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen“ (EWS). In Österreich entsprechen dieser die Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS) und genauer die RVS 03.08.71- „Entscheidungshilfen Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Oberbaukonstruktionen im Straßenbau“. In anderen Ländern benutzt man das HDM-4 (Highway Development and Management) als Grundlage der Straßenerhaltung. Diese Beurteilungskriterien haben die Kosten und Nutzen aus unterschiedlicher Sicht den spezifischen Bedingungen jedes Landes nach übernommen. Bei einer tiefgründigen Untersuchung kann man die Unterschiede und die Ähnlichkeiten zwischen diesen Kostensätzen finden.

Die Kosten werden aus zwei Gesichtspunkten, jenem des Baulasträgers und jenem der Straßennutzer, berücksichtigt. Bei der Durchführung der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen werden die folgenden Kosten berücksichtigt und als Kern für die Entscheidungsfindung angenommen:

- Baulasträgerkosten für den Straßenneubau sowie für die Instandhaltung, die Instandsetzung und die Erneuerung des Bauwerks
- Nutzerkosten (Betriebskosten, Zeitkosten und Unfallkosten)
- Umweltkosten- sie entstehen durch Fahrzeugemissionen, Energieverbrauch und Lärm

Die Nutzerkosten spielen heutzutage eine immer gewichtigere Rolle bei der Straßenerhaltung, weil sie den volkswirtschaftlichen Nutzen widerspiegeln.

Beim Befahren der Straße entstehen dem Straßennutzer nicht nur die Kosten für Kraftfahrzeug- und Mineralölsteuer sowie Straßenbenützungsgebühren (Maut, Vignette), sondern auch Kosten infolge der Straßenzustandsminderung. Sie werden als zusätzliche Kosten bezeichnet, weil sie mit den Kosten beim idealen Ausgangszustand verglichen werden. Für die Straßennutzer können auch Kosten infolge der Verkehrsbehinderung bei der Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen entstehen. Deshalb muss man die Straßen warten und erhalten, die notwendigen Erhaltungsmaßnahmen aufmerksam wählen und sie zu gelegener Zeit treffen.

Die Betriebskosten, die Zeitkosten und die Unfallkosten sind die maßgeblichen Teilkosten, die von großer Bedeutung für das Straßennutzerbudget sind. Sie

werden in den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen mit der Hilfe von Schätzverfahren bewertet.

### 3.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten bestehen aus den fahrleistungsabhängigen und fahrleistungsunabhängigen Ausgaben. Zur ersten Art gehören die Kraftstoffverbrauchskosten, die mit genauen Kostensätzen für die benzingetriebenen und dieselgetriebenen Kraftfahrzeuge bestimmt werden. Die fahrleistungsunabhängigen Betriebskostengrundwerte umfassen die Abschreibungen der Fahrzeuge, die Instandhaltung und die Wartung, den Reifenverschleiß und die Schmierstoffe.

Die fahrleistungsabhängigen Kosten werden leichter als die fahrleistungsunabhängigen bestimmt, weil sie von dem Kraftstoffverbrauch abhängen. Die zusätzlichen Kraftstoffverbrauchskosten entstehen bei einer Verlängerung des Weges infolge der Baustelle bei Einrichtung einer Umleitung, beim Stau oder beim schlechten Straßenzustand. Die Betriebskosten werden für die beiden Fälle: ohne und mit den Erhaltungsmaßnahmen bestimmt und danach verglichen. So werden die zusätzlichen Kosten berechnet und aufgrund dieser Information kann man die Erhaltungsvariante mit dem niedrigsten Kraftstoffverbrauch wählen. Die Einflussgrößen auf den Kraftstoffverbrauch sind die Länge der Baustelle oder der Umleitung, der Fahrzeugtyp, die Verkehrsmenge und der Straßenzustand. In den Richtlinien, die berücksichtigt werden, sind diese Faktoren bei den Berechnungen unterschiedlich gewichtet. Damit man die zusätzlichen Betriebskosten bekommen kann, muss der Kraftstoffverbrauch mit dem für das entsprechende Land gültigen Kostensatz multipliziert werden.

Die fahrleistungsunabhängigen Kosten sind schwer zu quantifizieren, weil der Reifenverschleiß, die Instandhaltung, die Wartung und die Schmierstoffe vom veränderten Straßenzustand beeinflusst werden. Sie werden in den deutschen und österreichischen Richtlinien nicht berücksichtigt, weil in diesen angenommen wird, dass sie bei den üblichen Strecken in beiden Fällen (ohne und mit Erhaltungsmaßnahmen) gleich sind.

In HDM werden Betriebskosten infolge des Reifenverschleißes, der Instandhaltung, der Wartung sehr ausführlich dargestellt. Der Reifenverschleiß kann einer der Hauptbestandteile der Nutzerkosten bei den schweren Fahrzeugen sein. Nach einigen Untersuchungen betragen die Kosten wegen des Reifenverbrauchs bei Lkw etwa 18 - 23 % der Gesamtnutzerkosten. Ihre Bestimmung ist sehr kompliziert aufgrund der vielen und relativen Einflussfaktoren wie klimatische Bedingungen, Eigenschaften der Reifen, Beladung des Fahrzeugs, Straßenzustand, Linienführung und Verkehr.

Die Betriebskosten für Reparatur und Wartung setzen sich aus Kosten für die Ersatzteile und für die Arbeitsstunden zusammen. Ihre Berechnung ist vom Lohnniveau in den Ländern beeinflusst, denn wenn die Arbeitsstunde billiger ist, wird bevorzugt, dass die Teile repariert werden, als sie zu ersetzen. Spezifische Einflussfaktoren auf diese Kosten sind die Lebensdauer des Fahrzeugs und seine Kilometerleistung, die gemeinsam mit der Oberflächenbeschaffenheit Schwierigkeiten bei den Berechnungen schaffen.

### 3.3 Zeitkosten

Die Untersuchung der Zeitkosten ist die grundsätzliche Aufgabe der Diplomarbeit. Die zusätzlichen Zeitkosten, die infolge einer Baustelle oder eines schlechten Straßenzustandes entstehen, sind ein wichtiger Punkt bei den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen einer oder einiger Erhaltungsmaßnahmen. Die Zusatzzeitkosten sind eine von den Entscheidungshilfen bei der Wahl einer Maßnahme oder bei dem Vergleich mehrerer Erhaltungsvarianten.

Die Berechnung der Zeitkosten infolge eines schlechten Straßenzustandes wird in den Industriestaaten selten berücksichtigt, weil dort die Straßennetze einen guten Zustand haben und die folgenden Zeitkosten nicht von so großer Bedeutung im Vergleich mit dieser infolge einer Baustelle sind. Es wird angenommen, dass eine schlechte Längsebenheit erst ab einem IRI - Wert von ca. 9 m/km [3] Zeitverluste verursacht. Diese Zusatzkosten werden im HDM berücksichtigt, weil es viele, vor allem nicht industrialisierte Länder gibt, wo ein hoher Anteil von nicht oder nur unzureichend befestigten Straßen vorhanden ist.

Der Zeitverlust infolge einer Baustelle ist der häufiger berücksichtigte Fall bei der Wirtschaftlichkeitsschätzung der Erhaltungsmaßnahmen. Er wird ausführlich in den drei Quellen dargestellt und berechnet. Der Einfluss der Geschwindigkeit im Baustellenbereich, der Verkehrsführung, der Verkehrsdichte, der Dauer der Maßnahmen, der Stautentstehung auf die Zeitkosten wird mit der Hilfe der verschiedenen Formeln und Daten bestimmt. Es ist wichtig, dass am Ende bei den Berechnungen die Fahrtzeit zur besseren Vergleichbarkeit in einen Geldwert umwandelt wird. Das wird mit der Hilfe des Zeitkostensatzes erfüllt. Er wird für jedes Land aufgrund der jeweiligen Lebensbedingungen ermittelt. Deshalb spielen die Zeitkosten in manchen Ländern, wo die Arbeitskraft nicht so gut entlohnt ist, keine wichtige Rolle.

Die Berechnung der Zeitkosten in dieser Arbeit wird für die entwickelten Staaten: Österreich und Deutschland und für die Weltbank dargestellt. Sie gründet auf langjährigen Untersuchungen auf diesem Gebiet. Sie stellen unterschiedliche Berechnungsvarianten dar, aber die notwendigen Eingangsdaten und Einflussparameter sind fast die gleichen in jeder von diesen Quellen.

### 3.4 Unfallkosten

Die Unfallkosten und die Verkehrssicherheit waren in der Vergangenheit in den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Straßenbaumaßnahmen nicht enthalten, weil die komplexen Zusammenhänge und die Unsicherheiten eine Prognose der Unfallzahlen und damit der Unfallkosten schwierig machten. Das wachsende Bewusstsein in dieser Richtung führt zur steigenden Berücksichtigung der Auswirkung von Maßnahmen auf die Verkehrssicherheit. Die entwickelten Methoden und die Ansätze zur Prognose der Unfallzahlen in den Ländern sind aufgrund der Komplexität und der Vielzahl der Variablen stark unterschiedlich und daraus folgen unterschiedliche Berechnungsweisen der Unfallkosten.

Das Unfallgeschehen wird durch den baulichen und verkehrlichen Zustand des Straßennetzes beeinflusst. Die Veränderungen des Straßenzustandes und/oder der Verkehrsbelastung haben eine Auswirkung auf die Unfallzahl und die Unfallschwere.

Eine Verringerung der Unfälle führt zu weniger Kosten, die in diesem Fall nicht nur Kosten infolge der Sachschäden sondern auch infolge der Personenschäden umfassen. Hier geht es um die Ausgaben für Fahrzeugreparatur, Heilung, Ertrags- und Produktionsausfall bei Leicht-, Schwer- und tödlich Verletzten, die Ausgaben der Invaliden- und Hinterbliebenenrente sowie Schmerzensgelder, die Ausgaben der Verkehrspolizei und die Verwaltungskosten der Versicherungen. Für die Bewertung der Straßenverkehrsunfälle werden Kostensätze nach der Straßenkategorie geschaffen. Sie werden in Unfälle mit Personenschäden und mit Sachschäden geteilt.

Die Berechnungen der Unfallkosten basieren auf Verweistabellen, in denen die Unfallraten für Straßen mit bestimmten Eigenschaften (z. B. Straßentyp, Verkehrsmengen und -verteilung, vorhandener nicht motorisierter Verkehr und Anlageverhältnisse der Straße) festgelegt sind [4]. Die Unfallrate charakterisiert eine Unfallgruppe mit ihren Bedingungen und Umständen. In den berücksichtigten Richtlinien beruhen die Berechnungen auf den Angaben von straßenspezifischen Unfallkostenraten. Wenn eine Verbesserungsmaßnahme durchgeführt wird, wird ein neuer Satz von Unfallzahlen aufgrund der Daten von Straßen mit den gleichen Verkehrsmengen und Charakteristiken ermittelt.

In den EWS werden zwei Berechnungsarten infolge der Wirkungsweise der Maßnahmen berücksichtigt: Straßennetze und Straßenabschnitte oder Knotenpunkte, deren gezielte Verbesserungen keine unmittelbaren Auswirkungen im weiteren Netz haben [5].

Bei den Straßennetzen werden die jährlichen Unfallkosten als Summe der Unfallkosten der einzelnen Abschnitte berechnet. Sie hängen von der Länge des betrachteten Abschnitts und der Unfallkostendichte ab. Die Unfallkostendichte ergibt sich aus den längenbezogenen jährlichen Unfallkosten für einen Netzabschnitt und sie wird durch die Multiplikation der Unfallkostenrate mit dem durchschnittlichen täglichen Verkehr berechnet.

Bei der Durchführung der Maßnahmen für einen Straßenabschnitt wird nach der Verminderung des Unfallgeschehens gestrebt. Es wird die örtliche Situation (die Unfall-, die Straßen- und die Verkehrssituation) geschätzt und durch die für die Verkehrssicherheit Zuständigen wird bewertet, um welchen Anteil die Unfallkosten durch die entsprechenden Maßnahmen vermindern werden können. Bei den Untersuchungen muss man die zeitlichen und die örtlichen Besonderheiten des Unfallgeschehens berücksichtigen.

In der RVS 03.08.71 werden die zusätzlichen Unfallkosten durch den Vergleich der Unfallkostenraten für den baustellenbedingten Straßentyp und für den unbehinderten Straßentyp, die mit den entsprechenden JDTV- Werten und Längen multipliziert werden, erhalten.

Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen der Unfallkosten im HDM beruhen auf dem gleichen Prinzip wie bei den österreichischen Richtlinien. Die notwendigen Parameter für die Berechnung der Unfallkosten sind wieder die Unfallrate, die Verkehrsbelastung des betrachteten Abschnitts oder der betrachteten Kreuzung, die von dem JDTV und der entsprechenden Länge ermittelt wird.

Bei den drei Varianten der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen der Unfallkosten ist zu erwähnen, dass sie nicht direkt mit dem Zustand der Straßenoberfläche

verknüpft werden und die Unfallrate von Tabellen, die für jeden Land erarbeitet werden, übernommen werden.

## 4. BERÜCKSICHTIGUNG DER ZEITVERLUSTE

### 4.1 Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS)

#### 4.1.1 Allgemeines

Die EWS dienen in Deutschland als Hilfestellung zur optimalen, objektiven und nachvollziehbaren Entscheidungsfindung bei der Straßenerhaltung. Die Grundlage der Empfehlungen sind die Nutzen und die Vorteile durch die Durchführung einer Maßnahme und die Veränderungen der entsprechenden Kosten und Belastungen. Bei den EWS werden zwei Kriterien angewandt: Variantenvergleich und/oder Dringlichkeitsreihung [5] zur Auswahl von Erhaltungsmaßnahmen. Beim Variantenvergleich werden alternative Ausführungsformen eines Projektes (z. B. verschiedene Trassenverläufe) hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit beurteilt. Bei der Dringlichkeitsreihung werden verschiedene Projekte (z. B. verschiedene Ergänzungen eines Straßennetzes) hinsichtlich der Folge ihrer Realisierung beurteilt. [5]

Alle Komponenten sind wirtschaftlich mit einer Kosten-Nutzen-Analyse zu bewerten. Bei dieser Abschätzung werden die Kosten und Nutzen einer Investitionsmaßnahme auf einen bestimmten Zeitpunkt ab- oder aufgezinnt. Sie sind mit Wertansätzen, die sich nach den Marktpreisen richten, berechnet. Das Vergleichsprinzip für die Beurteilung der Maßnahmen begründet sich in den Nutzen und Kosten bei der Realisierung der Maßnahmen im Vergleich zu ihrer Nichtrealisierung. Sie werden maßgebender Planungsfall bzw. Vergleichsfall genannt.

Nach ihrem Zweck werden die Kosten und Nutzen unterteilt. Die Kosten sind Investitionskosten und laufende Kosten. Die ersten folgen aus dem Bau der Straße und die zweiten aus den ständig wiederkehrenden Ausgaben für die Straßenerhaltung sowie Lenkung und Sicherung des Verkehrs. Die Nutzen sind alle anderen Maßnahmewirkungen, die als Gewinne oder als Verluste gegenüber dem Vergleichsfall bezeichnet werden können. Sie werden für jede Fahrtrichtung bestimmt.

Bei diesen Untersuchungen, damit man Vergleichswerte der Nutzen und Kosten bekommt, muss man Veränderungen verschiedener Größen berücksichtigen. In unserem Fall bei den Zeitkostenuntersuchungen muss man die Fahrzeiten betrachten.

Eine der wesentlichen Größen zur Beurteilung der Qualität und Leistungsfähigkeit eines Verkehrssystems stellt der Zeitbedarf dar, der zur Abwicklung der einzelnen Fahrten anzuwenden ist [5]. Diese Größe wird durch die Routen- und Verkehrsmittelwahl der Verkehrsteilnehmer ausgedrückt. Diese Wahl wird grundsätzlich nach dem Prinzip des zeitkürzesten Weges getroffen.

Die wichtigsten Einflussgrößen bei der Bestimmung der Fahrzeiten sind die Fahrtrouten, Fahrtweiten und Fahrgeschwindigkeiten.

Die Kostenwerte werden für einen genau definierten Zeitraum (je nach Betrachtung, zum Beispiel 20 Jahren) berechnet. Einmalig auftretende Nutzen bzw. Kosten (z. B. Investitionsausgaben) sind daher zunächst auf den Bezugszeitpunkt (den 1. Januar des Jahres nach der Verkehrsübergabe) auf- bzw. abzuzinsen und unter Berücksichtigung der Abschreibungszeiträume und des Zinsfußes (z. B.  $p = 3,0 \text{ \%/a}$ ) in jährliche Kosten (Annuitäten) umzuwandeln [5].

Nutzen und Kosten, die jährlich anfallen oder in Jahresbeiträge umgerechnet sind, werden auf den Bezugszeitpunkt auf- bzw. abgezinst, d. h. es werden die Barwerte jährlicher Nutzen und Kosten berechnet [5].

Die Kosten und Nutzen werden zur Erleichterung nur für ein Jahr bestimmt und dieser Wert wird auch für die übrigen Jahre angenommen. Diese Annäherung zeigt eine genügende Sicherheit bei den Berechnungen für den ganzen Betrachtungszeitraum. Ein Beispiel der Verteilung der Kosten und Nutzen für den Bewertungszeitraum von 20 Jahren wird auf Abbildung 2 dargestellt.

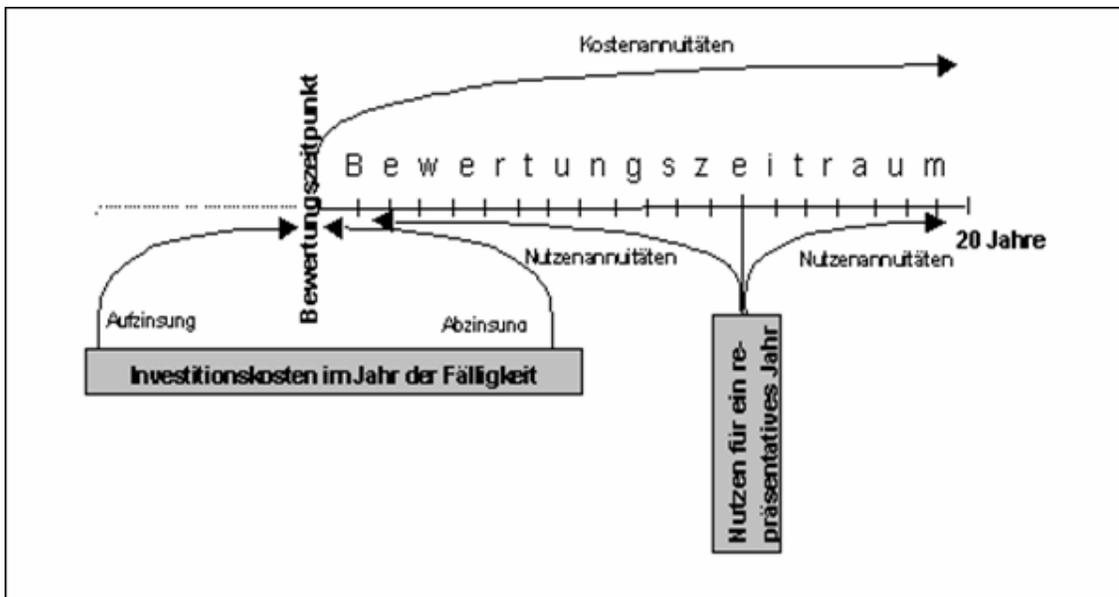


Abbildung 2: Gegenüberstellung der Nutzen und Kosten im Bewertungszeitraum [6]

Bei den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen sind Eingangsdaten notwendig. Der Umfang dieses Datengerüsts ist vom aktuellen Planungszustand abhängig. Sie sind zuerst für die Planung nötig und danach werden sie bei den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen benutzt. Zum Beispiel sind bei dem Ausführungsentwurf folgende Daten notwendig: Strukturdaten (Art der baulichen Nutzung, Art der Bebauung, Abstand der Bebauung, Fahrbahnachse); Streckendaten (für den öffentlichen und Individualverkehr: Straßentyp, Knotenpunkte, Streckenlänge, Längsneigung, Kurvigkeit); Verkehrsdaten (für den Individualverkehr: Verkehrsstärken, Verkehrszusammensetzung und für den öffentlichen Verkehr: Fahrgastaufkommen, Fahrbeziehungen).

#### 4.1.2 Berechnung des Nutzen/Kosten - Verhältnisses (NKV)

Die Grundlage der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ist die Relation zwischen den Nutzen und Kosten bei einer Straßenbauinvestition. Die aus einer Investition resultierenden jährlichen Erhaltungskosten sind die Folgekosten der Maßnahme und stehen gemeinsam mit den Herstellungskosten im Nenner des Nutzen/Kosten-Verhältnisses. Im NKV werden die Komponenten in Geldwerten ausgedrückt. Die Investitionskosten werden in Annuitäten (jährliche Investitionskosten unter Berücksichtigung von Zinsen) umgestaltet. Das ermöglicht den direkten Vergleich der Kosten einer Maßnahme mit ihren für den Prognosezeitraum ermittelten volkswirtschaftlichen Wirkungen (Nutzen). Wenn dieser Quotient größer als 1 ist, ist dies ein erstes Zeichen einer positiven Wirkung der überprüften Baumaßnahmen.

Das Nutzen/Kosten-Verhältnis besteht aus einigen Komponenten der Teilnutzen. Es wird wie folgt ausgedrückt:

$$\begin{aligned} \text{NKV} = & \text{NKV}_B + \text{NKV}_T + \text{NKV}_U + \text{NKV}_L + \text{NKV}_S \\ & + \text{NKV}_C + \text{NKV}_Z + \text{NKV}_F \end{aligned} \qquad \text{Gleichung 1}$$

Wobei hier gilt:

NKV - Nutzen/Kosten-Verhältnis einer Straßenbauinvestition

$\text{NKV}_B = \frac{\text{NB}}{\text{K}}$  - Beitrag zum Nutzen/Kosten-Verhältnis aus der Veränderung der Betriebskosten

$\text{NKV}_T = \frac{\text{NT}}{\text{K}}$  - Beitrag zum Nutzen/Kosten-Verhältnis aus der Veränderung der Fahrzeiten

$\text{NKV}_U = \frac{\text{NU}}{\text{K}}$  - Beitrag zum Nutzen/Kosten-Verhältnis aus Veränderung des Unfallgeschehens

$\text{NKV}_L = \frac{\text{NL}}{\text{K}}$  - Beitrag zum Nutzen/Kosten-Verhältnis aus der Veränderung der Lärmbelastung

$\text{NKV}_S = \frac{\text{NS}}{\text{K}}$  - Beitrag zum Nutzen/Kosten-Verhältnis aus der Veränderung der Schadstoffbelastung

$\text{NKV}_C = \frac{\text{NC}}{\text{K}}$  - Beitrag zum Nutzen/Kosten-Verhältnis aus der Veränderung der Klimabelastung

$NKV_z = \frac{NZ}{K}$  - Beitrag zum Nutzen/Kosten-Verhältnis aus der Veränderung der Trennwirkung

$NKV_f = \frac{NF}{K}$  - Beitrag zum Nutzen/Kosten-Verhältnis aus der Veränderung der Flächenverfügbarkeit

Mit

NB- Nutzen durch Veränderung der Betriebskosten

NT- Nutzen durch Veränderung der Fahrzeiten

NU- Nutzen durch Veränderung des Unfallgeschehens

NL- Nutzen durch Veränderung der Lärmbelastung

NS- Nutzen durch Veränderung der Schadstoffbelastung

NC- Nutzen durch Veränderung der Klimabelastung

NZ- Nutzen durch Veränderung der Trennwirkung

NF- Nutzen durch Veränderung der Flächenverfügbarkeit

K- Kosten, das sind die zusätzlichen Kosten der Baulast infolge einer Straßenbauinvestition

Die als Folge von Straßenbauprojekten entstehenden Veränderungen der Trennwirkung und der Flächenverfügbarkeit werden bei Trassenvergleichen im Neubaufall berücksichtigt. Sie spielen jedoch keine maßgebende Rolle bei der Straßenerhaltung.

Damit man das Nutzen/Kosten-Verhältnis berechnen kann, muss man die einzelnen Komponenten der Gleichung betrachten. Für die Bestimmung der Nutzen und Kosten sind Eingangsdaten notwendig. Man muss die Verkehrsstärken, die Verkehrszusammensetzung und die Geschwindigkeiten der Fahrzeuggruppen in Abhängigkeit von den Streckenmerkmalen ermitteln. Sie formieren den Verkehrsablauf, der von dem Straßentyp beeinflusst wird.

Bei den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen der Straßen ist die Bestimmung der Verkehrsstärke von großer Bedeutung. Hier muss man aufgrund des bestehenden Verkehrs eine Verkehrsprognose ausarbeiten. Die prognostizierte Verkehrsstärke muss für die beiden Fälle - Planungsfall und Vergleichsfall- für die betrachteten Jahre erstellt werden. Die Verkehrsstärke spielt eine große Rolle bei der Beurteilung, ob das Bauvorhaben realisiert werden soll oder nicht.

Bei den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen muss man weiters die folgenden Punkte beachten: die Netzabgrenzung, die Abschnittseinteilung und den Verkehrsablauf.

Die Netzabgrenzung berücksichtigt die Netzabschnitte, wo die Verkehrsstärke und die Verkehrsbelastung im Planungsfall und im Vergleichsfall deutlich verschieden sind. Alle diese Abschnitte formieren den Wirkungsbereich der Maßnahmen. Eine zu große oder zu kleine räumliche Begrenzung führt zu Fehler bei der Bewertung der Nutzen und Kosten. Es ist wichtig, dass diese Netzabgrenzung das gleiche Gebiet bei dem Vergleichsfall und bei dem Planungsfall umfasst.

Die Abschnittseinteilung folgt aus den verschiedenen Nutzen und den unterschiedlichen Maßnahmen, die in entsprechenden Abschnitten durchgeführt werden können. Die Einteilung ist von der Genauigkeit und der Verfügbarkeit der Daten abhängig. Normalerweise ergeben sich Abschnittsgrenzen aufgrund von Änderungen der Verkehrsstärke und der Verkehrszusammensetzung, des Straßentyps, der zulässigen Höchstgeschwindigkeit oder Art und Größe der baulichen Nutzung [5].

Der Verkehrsablauf, der die Nutzenwerte beeinflusst, ergibt sich aus der Verkehrsstärke, der Verkehrszusammensetzung und der Geschwindigkeit der Fahrzeuggruppe. Diese Komponenten werden für jede Fahrtrichtung bestimmt und in Tabellen beschrieben.

#### 4.1.3 Bestimmung der Nutzen

Jede Nutzenkomponente, die berücksichtigt wird, muss durch einen Kostensatz in einen Geldwert umgewandelt werden. So können die erforderlichen Vergleichswerte gesichert werden. Der durchschnittliche ökonomische Wert der in einer Stunde durchgeführten Tätigkeiten wird als Zeitkostensatz bezeichnet.

##### 4.1.3.1 Berechnung der Nutzen

Grundlage für die Berechnung des Nutzens stellt die Veränderung der Fahrzeiten dar. Das ist die Differenz zwischen dem Zeitbedarf für die Verkehrsabwicklung im Vergleichsfall (ohne Maßnahme, vg) und diesem im Planungsfall (mit Maßnahme, pl).

Der Nutzen der Fahrzeitveränderung im betrachteten Jahr wird durch die folgende Formel bestimmt:

$$NT_a = TK_{a,vg} - TK_{a,pl} \text{ [€ / a]} \quad \text{Gleichung 2}$$

$NT_a$  - die Nutzen der Fahrzeitveränderung im Jahr a [€ / a]

$TK_{a,vg}$  - Zeitkosten im betrachteten Jahr a im Vergleichsfall (vg) [€ / a]

$TK_{a,pl}$  - Zeitkosten im betrachteten Jahr a im Planungsfall (pl) [€ / a]

Der volkswirtschaftliche Nutzen durch die Fahrzeitveränderungen ergibt sich aus den Fahrzeitveränderungen multipliziert mit dem Zeitkostensatz [5].

Die Zeitkosten eines Jahres kann man mit dieser Formel bestimmen:

$$TK_{a,Netz} = \sum_{Fz} T_{a,Netz,Fz} * WT_{Fz} \text{ [€ / a]} \quad \text{Gleichung 3}$$

$TK_{a,Netz}$  [€ / a] - jährliche Zeitkosten für die Verkehrsabwicklungen im betrachteten Netz

$T_{a,Netz,Fz}$  [Kfz \* h / a]- Fahrzeit für die betrachtete Fahrzeuggruppe im Jahr a für das betrachtete Netz

$WT_{Fz}$  [€ / KFZ \* h]- Zeitkostensatz für die betrachtete Fahrzeuggruppe

Die Fahrzeit hängt von der Fahrzeuggruppe ab, deshalb muss man die Zusammensetzung jeder Fahrzeuggruppe und ihre Parameter bestimmen. Die Fahrzeuggruppen L, Z und B werden als Güterverkehr zusammengefasst.

Tabelle 1: Fahrzeuggruppen

Fahrzeuggruppe $F_z$	Zusammensetzung	Charakteristiken (zul. Gesamtgewicht)
P	Krafträder und Pkw	bis 2,8t
L	Lastkraftwagen und Spezial und Landwirtschaftliche Fahrzeuge	Zw. 2,8t und 3,5t mehr als 3,5t
Z	Lkw mit Anhänger und Sattelkraftfahrzeuge	
B	Reisebusse und Linienbusse	

#### 4.1.3.2 Zeitkostensatz

Die entsprechenden Kostensätze der EWS zur Berechnung der Nutzen der Fahrzeitänderung sind in Tabelle 2 dargestellt. Sie beinhalten die Vorhalte- und Lohnkosten für Jahr 2005 bei gewerblich genutzten PKW, Lastkraftwagen, Lastzügen und Bussen sowie die Zeitkosten der Insassen privat genutzter PKW und der Passagiere von Bussen [5].

Tabelle 2: Zeitkostensätzen nach Fahrgruppe für das Jahr 2005 [5]

Fahrzeuggruppe $F_z$	Zeitkostensätze $WT_{Fz}$ [€ / KFZ * h]	
	Normalwerktags Urlaubswerktags w, u	Sonntags s
PKW (P)	5,62	2,81
LKW (L)	21,47	21,47
Lastzug (Z)	30,68	30,68
Bus (B)	63,91	63,91

### 4.1.3.3 Fahrzeit

Die Fahrzeit  $T$  für das gesamte Untersuchungsgebiet wird nach folgendem Ansatz ermittelt:

$$T_{a,Netz,Fz} = \sum_i \sum_R \sum_t \left( \frac{Q}{V} \right)_{i,R,t} * T_t * LG_i \quad [\text{Kfz} * \text{h} / \text{a}] \quad \text{Gleichung 4}$$

$i$ - Nummer des Abschnittes

$R$ - Fahrtrichtung ( $R=1$  oder  $2$ )

$t$ - Nummer eines Zeitraumes mit annähernd gleichartigem Verkehrsablauf

$Q$  [Kfz/h]- Verkehrsstärke in einer Fahrtrichtung

$V$  [km/h]- Geschwindigkeit

$T$  [h/a]- Dauer eines Zeitraumes mit annähernd gleicher Verkehrsstärke

$LG_i$  [km]- Länge eines Netzabschnittes

Die Geschwindigkeit  $V$  in dieser Gleichung ist für die Fahrzeuggruppen  $P$  und  $GV$  für die Fahrtrichtungen getrennt zu berechnen. Es werden Tabellen zur Berechnung der Fahrgeschwindigkeit benutzt, da diese von folgenden Einflussgrößen abhängt:

$Q_{P,V,i}$  [Kfz / h]- Verkehrsstärken der Fahrzeuggruppe  $P$  (für  $w$ - Normalwerktags-,  $u$ - Urlaubswerktags- bzw.  $s$ - Sonn- und Feiertagsverkehr) je Fahrtrichtung

$Q_{G,V,i}$  [Kfz / h]- Güterverkehrsstärken je Fahrtrichtung

$ST$ - Straßentyp (Er teilt sich in zwei Hauptteilen: Innerortstraßen und Außerortstraßen)

$V_{zul}$  [Kfz/h]- Zulässige Höchstgeschwindigkeit

$s$  [%]- mittlere Längsneigung des Abschnittes, im Hinblick auf die betrachtete Fahrtrichtung gilt:  $s$ - positiv: Steigung,  $s$ - negativ: Gefälle

$KU$  [gon / km]- Kurvigkeit des Abschnittes (nur bei sonstigen Außerortsstraßen)

Die Geschwindigkeit der Fahrzeuge ist von der zulässigen Geschwindigkeit  $V_{zul}$  und von der minimalen Geschwindigkeit bei Stau  $V_{min}$  begrenzt. Eine andere Beschränkung ist das, dass die Geschwindigkeiten des Güterverkehrs  $GV$  nicht größer als diese der Fahrzeuggruppe  $P$  sein dürfen.

$$V_{zul} \geq V_P \geq V_{GV} \geq V_{min} \quad \text{Gleichung 5}$$

Aber beim Stau könnte eine andere Begrenzung auf Außerortsstraßen mit einem Fahrstreifen je Richtung und befestigter Fahrbahnbreite von 6 m bis 8 m wegen der hohen Verkehrsstärke des Güterverkehrs entstehen:

$$V_p = V_{\min}, \text{ wenn } V_{GV} = V_{\min}$$

Gleichung 6

#### 4.1.3.4 Maßgebende Verkehrsstärke

Die Verkehrsmenge ist die andere wichtige Komponente bei der Berechnung der Fahrzeit. Hier benutzt man die Verkehrsprognose, um den durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) des entsprechenden Querschnitts für den Planungsfall und Vergleichsfall in den zu untersuchenden Jahren zu bestimmen. Dieser Wert gilt für den ganzen Querschnitt. Man unterscheidet einige Fahrtzweckgruppen, die den DTV beeinflussen [5].

##### a) Normalwerktag

$DTV_{ges,w}$  [Kfz / 24h]- gesamte durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge auf einem Abschnitt an Normalwerktagen

$DTLV_{GV,w}$  [Kfz / 24h]- durchschnittliche tägliche Güterverkehrsmenge auf einem Abschnitt an Normalwerktagen

##### b) Urlaubswerktag

$DTV_{ges,u}$  [Kfz / 24h]- gesamte durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge auf einem Abschnitt an Urlaubswerktagen

$DTLV_{GV,u}$  [Kfz / 24h]- durchschnittliche tägliche Güterverkehrsmenge auf einem Abschnitt an Urlaubswerktagen

##### c) Sonn- und Feiertage

$DTV_{ges,s}$  [Kfz / 24h]- gesamte durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge auf einem Abschnitt an Sonn- und Feiertagen

$DTLV_{GV,s}$  [Kfz / 24h]- durchschnittliche tägliche Güterverkehrsmenge auf einem Abschnitt an Sonn- und Feiertagen

Ist lediglich der durchschnittliche tägliche Güterverkehr bezogen auf das Gesamtjahr bekannt ( $DTLV_{GV,w+u+s}$ ), so kann folgende Umformung vorgenommen werden:

$$DTLV_{GV,w} = DTLV_{GV,u} = 1.2 * DTLV_{GV,w+u+s} \quad \text{Gleichung 7}$$

$$DTLV_{GV,s} = 0.04 * DTLV_{GV,w+u+s} \quad \text{Gleichung 8}$$

Zur Berücksichtigung der Schwankungen der Verkehrsstärke innerhalb eines Jahres werden Zeitabschnitte  $t$  mit der Dauer  $T$  [h / a] mit annähernd gleicher Verkehrsstärke zusammengefasst. Für die Zeitabschnitte  $t$  berechnet sich die Verkehrsstärke je Fahrtrichtung  $Q$  allgemein nach Gleichung 9:

$$Q = k * \frac{DTV}{RI} [Kfz / h]$$

Gleichung 9

Falls der DTV für beide Richtungen angegeben ist, ergibt sich RI zu 2 ansonsten ist RI 1.

Der k- Faktor wird in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3:  $DTV_{ges}$  und  $DTV_{GV}$  Anteile k und Dauer T für Zeitabschnitte t mit annähernd gleichartigem Verkehrsablauf [5]

Zeitabschnitt t	Anzahl Stunden pro Jahr T [h/a]	Gesamtverkehr						Güterverkehr		
		Bundesautobahnen (Straßentypen 1, 3)				sonstige Straßen (Straßentypen 2, 4-6)		Bundesautobahnen	sonstige Straßen	
		≥ 3 FS*) DTV [Kfz/24h] ≤ 60.000 > 60.000		2 FS DTV [Kfz/24h] ≤ 40.000 > 40.000		DTV [Kfz/24h] ≤ 10.000 > 10.000				
	4.824	$k_{ges,w}$		$k_{ges,w}$		$k_{ges,w}$		$k_{GV,w}$		
Normalwerk- tage (w)	1	30	0,1003	0,0883	0,1047	0,0920	0,1207	0,0971	0,0624	0,0745
	2	40	0,0930	0,0855	0,0970	0,0901	0,1112	0,0927	0,0624	0,0745
	3	130	0,0840	0,0815	0,0890	0,0849	0,1006	0,0893	0,0624	0,0745
	4	500	0,0740	0,0743	0,0790	0,0793	0,0817	0,0826	0,0624	0,0745
	5	4.124	0,0355	0,0357	0,0346	0,0349	0,0337	0,0343	0,0382	0,0361
	2.424	$k_{ges,u}$		$k_{ges,u}$		$k_{ges,u}$		$k_{GV,u}$		
Urlaubs- werk- tage (u)	6	30	0,0928	0,0839	0,0983	0,0860	0,1121	0,0941	0,0624	0,0745
	7	40	0,0841	0,0792	0,0945	0,0845	0,1018	0,0904	0,0624	0,0745
	8	130	0,0760	0,0721	0,0860	0,0810	0,0897	0,0846	0,0624	0,0745
	9	500	0,0631	0,0636	0,0650	0,0657	0,0660	0,0669	0,0624	0,0745
	10	1.724	0,0310	0,0314	0,0293	0,0300	0,0284	0,0291	0,0333	0,0283
	1.512	$k_{ges,s}$		$k_{ges,s}$		$k_{ges,s}$		$k_{GV,s}$		
Sonn- u. Feier- tage (s)	11	30	0,0938	0,0881	0,1025	0,0915	0,1376	0,1068	0,0614	0,0686
	12	40	0,0850	0,0800	0,0875	0,0800	0,1144	0,0920	0,0614	0,0686
	13	130	0,0790	0,0750	0,0790	0,0760	0,0944	0,0840	0,0614	0,0686
	14	500	0,0627	0,0640	0,0640	0,0645	0,0572	0,0600	0,0614	0,0686
	15	812	0,0187	0,0190	0,0174	0,0184	0,0165	0,0187	0,0247	0,0185

Wegen der verschiedenen Streckenbelastung und Straßentypen im Vergleichsfall und Planungsfall müssen die k- Faktoren für den gleichen Abschnitt in beiden Fällen getrennt berechnet werden.

Für die Fahrzeuggruppe GV wird die Verkehrsstärke ( $Q_{GV}$ ) im Normal-, Urlaubswerktag und Sonn- und Feiertag mit der selben Gleichung mit Indizes- n; u; s berechnet.

Für die Fahrzeuggruppe P gilt die folgende Gleichung:

Normalwerktag

$$Q_{P,w} = k_{ges,w} * \frac{DTV_{ges,w}}{RI} - Q_{GV,w} [Kfz / h]$$

Gleichung 10

Diese Formel gilt für den Urlaubswerktag und Sonn- und Feiertag mit den entsprechenden Werten.

Zur Berechnung der Nutzen aus Veränderung der Fahrzeiten muss die Verkehrsstärke des Güterverkehrs in Fahrzeuggruppen L, Z und B geteilt werden. Liegen entsprechende Angaben aus der Prognose vor, gelten die in Tabelle 3 angegebenen k- Werte (je Fahrtrichtung) und die Verkehrsstärken sind wie folgt zu errechnen [5]:

Fahrzeuggruppen L, Z, B:

Normalwerktag

$$Q_{L/Z/B,w} = k_{GV,w} * \frac{DTV_{L/Z/B,w}}{RI} \text{ [Kfz / h]} \quad \text{Gleichung 11}$$

So wird auch die Verkehrsstärke im Urlaubswerktag und Sonn- und Feiertag bestimmt.

Liegen entsprechende Angaben aus der Prognose nicht vor, sind die Teilverkehrsstärken  $Q_{L,V}$ ,  $Q_{Z,V}$  und  $Q_{B,V}$  ( $V= w, u, s$ ) unter Verwendung der Faktoren  $f_z$  und  $f_B$  wie folgt zu errechnen [5]:

$$Q'_{GV,V} = \frac{Q_{GV,V}}{(1 - f_B)} \quad \text{Gleichung 12}$$

$$Q_{Z,V} = f_z * Q'_{GV,V} \quad \text{Gleichung 13}$$

$$Q_{B,V} = f_B * Q'_{GV,V} \quad \text{Gleichung 14}$$

$$Q_{L,V} = [1 - (f_z + f_B)] * Q'_{GV,V} \quad \text{Gleichung 15}$$

Mit

$$f_z = \frac{Q_{Z,V}}{Q'_{GV,V}} \quad \text{und} \quad f_B = \frac{Q_{B,V}}{Q'_{GV,V}}$$

Die angegebenen Faktoren können nur dann für Näherungsrechnungen übernommen werden, wenn nicht durch die zu bewertenden Maßnahme Verkehrsverlagerungen des Güterverkehrs zwischen Straßen mit unterschiedlichen Anteilen L, Z und B auftreten [5].

Die Mittelwerte der Faktoren  $f_L$ ,  $f_z$  und  $f_B$  mit Unterteilung nach leichten und sonstigen Lastkraftwagen, nach Last- und Sattelzug bzw. nach Reise- und Linienbus zur Ermittlung der Teilverkehrsstärke  $Q_{L,V}$ ,  $Q_{Z,V}$  und  $Q_{B,V}$  ( $V= w, u, s$ ) (Mittelwerte für das Bundesgebiet) werden in einer Tabelle eingetragen. Sie befindet sich in den EWS [5]. Man arbeitet damit, indem man für den entsprechenden Straßentyp den

$f_L$ ,  $f_z$  oder  $f_B$  Wert wählt. Z. B. für Straßentyp 2 entspricht den Wert  $f_{LN}$  (für den leichten Lkw) gleich 0.09.

#### 4.1.4 Bestimmung der Kosten

Der nächste Schritt bei der Bestimmung des Nutzen/Kosten-Verhältnisses ist die Berechnung der zusätzlichen Kosten. Sie sind Investitionskosten und laufende Kosten. Sie werden in verschiedenen Zeitpunkten getroffen. In den folgenden Formeln werden sie als Jahreskosten der Baulast ermittelt.

$$K_{a,Netz} = KI_{a,Netz} + KL_{a,Netz} \text{ [€ / a]} \quad \text{Gleichung 16}$$

$K_{a,Netz}$  [€ / a] - jährliche Baulastkosten für das betrachtete Netz („vg“ bzw. „pl“)

$KI_{a,Netz}$  [€ / a] - jährliche Investitionskosten im betrachteten Netz (im Netz „vg“ gilt  $KI_{a,vg} = 0$ )

$KL_{a,Netz}$  [€ / a] - jährliche laufende Kosten für das betrachtete Netz

Die (zusätzlichen) Kosten errechnen sich dann als Jahreskosten zu.

$$K_a = K_{a,pl} - K_{a,vg} \text{ [€ / a]} \quad \text{Gleichung 17}$$

Der Barwert der jährlichen Kosten  $K_A$  errechnet sich durch die Multiplikation des Zeitwertes der einzelnen Zahlungen  $K_a$  mit dem Barwertfaktor  $bf$ .

$$K_A = bf * K_a \text{ [€]} \quad \text{Gleichung 18}$$

Eine Erklärung des Barwertes für einen Zeitraum von fünf Jahren wird durch die Abbildung 3 dargestellt. Die mehrmaligen Zahlungen werden mit gleich hohen Zahlungsbeträgen am Ende jeder Periode (ein Jahr) angenommen.

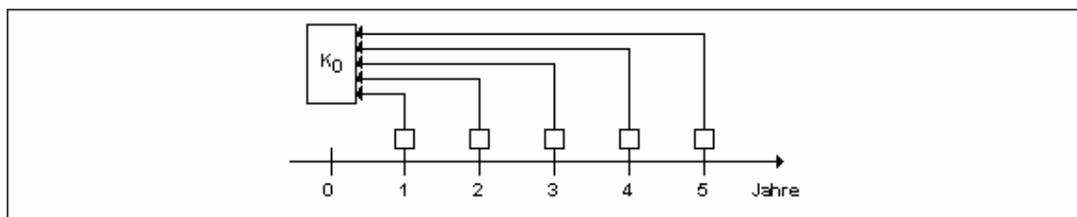


Abbildung 3: Barwertdarstellung für einen Zeitraum von fünf Jahren [7]

Dabei ist  $bf$  der Barwertfaktor und er berechnet den Wert einer in  $n$  Jahren anfallenden regelmäßigen Zahlungsreihe heute.

$$bf = \frac{(1 + 10^{-2} * p)^n - 1}{10^{-2} * p * (1 + 10^{-2} * p)^n} [a]$$

Gleichung 19

Mit  $n=5$  a und  $p=3,0$  %/a ergibt sich z. B.  $bf = 4$  a.

## 4.2 RVS 03.08.71 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Oberbaukonstruktionen im Straßenbau

### 4.2.1 Allgemeines

Die Richtlinie, die man in Österreich für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Oberbaukonstruktionen im Straßenbau anwendet, ist die RVS 03.08.71. Mit ihrer Hilfe werden die verschiedenen Oberbaukonstruktionen und/oder die Baustoffe, aus denen die Oberbauschichten gebildet werden, verglichen. Die Investitionen, die abgeschätzt werden müssen, können sich auf Neubau, Instandsetzungs- oder Instandhaltungsmaßnahmen beziehen. Die Einflussfaktoren sind der Bemessungszeitraum, der Bautyp und die Gebrauchsdauer, welche von der Baustoffqualität, der Verkehrsbelastung und den klimatischen Bedingungen abhängen [8]. Die Gebrauchsdauer entspricht dem Abschreibungszeitraum und sie ist für Betondecke ist 30 Jahre und für bituminöse Befestigung ist 20 Jahre [9]. Es gibt unterschiedliche Bewertungsvarianten, je nach Ziel der Investitionen kann die entsprechende gewählt werden:

- Die Investition der gesamten Oberbaukonstruktion wird bei unterschiedlichen Bemessungszeiträumen und/oder unterschiedlichen Bautypen und gleicher oder unterschiedlicher Gebrauchsdauer beurteilt.
- Die Investition einer einzelnen und/oder mehrerer Schichten wird bei gleichen Bemessungszeiträumen, gleichen Bautypen und unterschiedlicher Gebrauchsdauer beurteilt [8].

Diese Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen können zu verschiedenen Zeitpunkten in der Planungsphase oder nach der Angebotslegung gemacht werden. In erstem Fall wird eine Entscheidung begründet oder einige Varianten verglichen. Nach der Angebotslegung muss man schon eine endgültige Entscheidung als Ausgangsbasis nehmen. Es wird für alle Varianten ein Basismodell durchgerechnet und am Ende wird eine Variante nach dem Ausgabenminimumkriterium gewählt.

Die Eingangsdaten für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind in den meisten Fällen unsicher und geschätzt. Man muss verschiedene Annahmen machen, die das Ergebnis beeinflussen können. In welcher Stufe die unsicheren Eingangsdaten das Ergebnis beeinflussen, kann mit der Hilfe einer Sensitivitätsanalyse dargestellt werden. Die Daten müssen mit ihrer Bandbreite in die Berechnungen eingehen.

Bei den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen der Straßen nach der österreichischen Richtlinie handelt es sich um eine Ausgaben-Nutzen-Analyse. Die Komponenten werden monetär ausgedrückt und auf einem bestimmten Zeitpunkt diskontiert.

Der Untersuchungszeitraum (n) soll mindestens gleich der theoretischen Lebensdauer der gebundenen Oberbaukonstruktion sein. In dieser Richtlinie ist er gleich 30 Jahre.

### 4.2.2 Ausgaben

Unter Ausgaben versteht man in dieser Richtlinie alle Nettoinvestitionen ohne die Mehrwertsteuer. Die Ausgaben könnten sowohl für den Baulasträger als auch für die Straßennutzer sein. Man kann die Ausgaben nicht nur für Neubau sondern

auch für die Instandhaltung und Instandsetzung und ihre zeitlichen Abläufe betrachten.

Die Zeitkosten sind ein Teil der Straßennutzer Ausgaben. Sie sind das Produkt der Fahrzeit und des Zeitkostensatzes. Unter Zeitkostensatz versteht man den ökonomischen Wert der alternativen Verwendung einer Stunde Fahrzeit. Bei der Festlegung des Zeitkostensatzes für den Pkw - Verkehr können subjektive Einschätzungen nicht ausgeschlossen werden, da die Zeit an sich keinen originären Wert besitzt und somit keinen Preis hat. Die Zeitkosten werden daher in dieser Richtlinie nur für den Lastverkehr berücksichtigt [8].

Im Prinzip ist in anderen österreichischen Richtlinien die Möglichkeit gegeben, dass die Zeitkosten für den Pkw - Verkehr bestimmt werden, aber wegen ihrer Unsicherheit werden sie hier nicht berücksichtigt.

#### 4.2.3 Zeitkosten für Lkw - Verkehr

Die zusätzlichen Zeitkosten werden mit der nachfolgenden Formel bestimmt:

$$\Delta Z = (Z_B - Z_0) * t_D \quad \text{Gleichung 20}$$

Die Komponenten der Gleichung sind:

$\Delta Z$  - zusätzliche Kosten (€)

$Z_B$  - baustellenbedingte tägliche Zeitkosten (€)

$Z_0$  - tägliche Zeitkosten des unbehinderten Straßenabschnittes (€)

$t_D$  - Dauer der Baustelle (Tage)

Die notwendigen Daten für die Berechnung der Zeitkosten eines Straßenabschnittes sind die Abschnittslänge, die Geschwindigkeit, die Anzahl der Kraftfahrzeuge und die Kosten je Kraftfahrzeug. Die tatsächliche Geschwindigkeit ist durch eine Funktion der Verkehrsstärke (KFZ/h), der Verkehrsdichte (KFZ/km) sowie der Straßencharakteristik, welche durch die Anzahl der Fahrstreifen, die Fahrstreifenbreite, die Längsneigung und die Kurvigkeit gekennzeichnet ist, zu ermitteln.

Die monetären Kosten je Kraftfahrzeug werden vom Zeitkostensatz (ZKS) bestimmt. Für Lkw sind sie gleich 21.08 €/KFZ\*h im Jahr 2000 und für Lkw-Zug: 30.52 €/KFZ\*h. Die anderen Daten für die Kostensätze im Jahr 2000 kann man in der RVS 02.01.22 [9] finden.

Die täglichen Zeitkosten des unbehinderten Straßenabschnittes  $Z_0$  werden so berechnet:

$$Z_0 = t_0 * JDTLV * ZKS = \frac{3600 * I_0 * JDTLV * ZKS}{V_{Lzul.}} = \frac{I_0 * JDTLV * ZKS}{V_{Lzul.}} \quad \text{Gleichung 21}$$

Wobei

$Z_0$  - tägliche Zeitkosten des unbehinderten Straßenabschnittes (€)

$t_0$  - Fahrzeit des Schwerverkehrs für den unbehinderten Straßenabschnitt (h)

JDTLV- jährlicher durchschnittlicher täglicher Schwerverkehr (LKW/24h)

ZKS- mittlerer Zeitkostensatz des Schwerverkehrs (€/h)

$I_0$  - Länge des unbehinderten Straßenabschnittes (km)

$V_{Lzul.}$  - zulässige Geschwindigkeit des Schwerverkehrs (km/h)

Die baustellenbedingten täglichen Zeitkosten  $Z_B$  werden ohne oder mit Wartezeiten durchgeführt. Bei dem ersten Fall ist die Baustelle mit mindestens einem Fahrstreifen in jeder Richtung (Umleitung) gesichert, deshalb werden keine Wartezeiten berechnet. Bei dem zweiten Fall ist nur ein Fahrstreifen offen, aufgrund der Baustelle ist eine Signalanlage notwendig. Das führt zu einer Verzögerung und Berechnung der Zeitkosten mit Wartezeiten.

#### 4.2.3.1 Baustellenbedingte tägliche Zeitkosten ( $Z_B$ ) ohne Wartezeiten

Die baustellenbedingten täglichen Zeitkosten ohne Wartezeiten werden auf die selbe Weise wie die täglichen Zeitkosten des unbehinderten Straßenabschnittes berechnet.

$$Z_B = t_B * JDTLV * ZKS = \frac{3600 * I_B * JDTLV * ZKS}{V_{Lzul.}} = \frac{I_B * JDTLV * ZKS}{V_{Lzul.}} \quad \text{Gleichung 22}$$

Darin sind:

$Z_B$  - baustellenbedingte tägliche Zeitkosten (€)

$t_B$  - Fahrzeit des Schwerverkehrs für die baustellenbedingte Umleitung (h)

$I_B$  - Länge der baustellenbedingten Umleitung (km)

#### 4.2.3.2 Baustellenbedingte tägliche Zeitkosten ( $Z_b$ ) mit Wartezeiten

Bei der Bestimmung dieser Zeitkosten wird die Verzögerungszeit aufgrund der eingerichteten Signalanlage berücksichtigt. Der zusätzliche Zeitbedarf besteht aus der Umlaufzeit und der Freigabezeit. Unter der Annahme, dass die Umlaufzeit und die Freigabezeit während des gesamten Untersuchungszeitraumes konstant sind und dass die Verkehrsstärke unter der Sättigungsverkehrsmenge von 1450 KFZ/h in der Grünzeit liegt, lassen sich die Umlaufzeit, die Freigabezeit und die mittlere Verzögerungszeit folgenderweise berechnen [8]:

- Räumgeschwindigkeit

$$V_r = V_{zul} - 10 \text{ wenn } V_{zul} \geq 40 \text{ km/h} \quad \text{Gleichung 23}$$

$$V_r = V_{zul} - 5 \text{ wenn } V_{zul} \leq 30 \text{ km/h} \quad \text{Gleichung 24}$$

$V_r$  - mittlere Räumgeschwindigkeit (km/h)

$V_{zul}$  - zulässige Höchstgeschwindigkeit für PKW (km/h)

- Zwischenzeit

$$t_z = 3.0 + \frac{S_r}{v_r} \quad \text{Gleichung 25}$$

$t_z$  - Zwischenzeit (s)

$S_r$  - Länge der Baustelle mit wechselweiser Einbahnregelung (m)

$v_r$  - Räumgeschwindigkeit (m/s)

- Umlaufzeit

Die Sättigungsverkehrsmenge wird mit 1450 KFZ/h- Grünzeit angenommen.

$$MSV = JDTV * k \quad \text{Gleichung 26}$$

$$t_u = \frac{\sum t_z}{1 - \frac{MSV_1 + MSV_2}{1450}} \quad \text{Gleichung 27}$$

Wobei

MSV- maßgeblicher stündlicher Verkehr in beiden Richtungen (KFZ/h)

$MSV_1$ - maßgeblicher stündlicher Verkehr in Fahrtrichtung 1 (KFZ/h)

$MSV_2$ - maßgeblicher stündlicher Verkehr in Fahrtrichtung 2 (KFZ/h)

JDTV- jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr (KFZ/24h)

k- Umrechnungsfaktor (-)

In der Regel ist der k 30-Wert zu verwenden und ist vom Typ der Jahresganglinie abhängig. Zum Beispiel bei überwiegendem Berufs- und Wirtschaftsverkehr ist der k-Faktor gleich 0.12 je Richtung. Die anderen Werten kann man in der RVS 03.01.11 [10] finden.

$t_U$  - Umlaufzeit (s)

$\sum t_z$  - Summe der Zwischenzeiten pro Umlauf (s)

- Summe der Grünzeiten und Aufteilung auf beide Fahrtrichtungen

$$\sum t_{Gr} = t_U - 2 * t_z \quad \text{Gleichung 28}$$

$$t_{Gr1} = \frac{MSV_1}{MSV} * \sum t_{Gr}; t_{Gr2} = \frac{MSV_2}{MSV} * \sum t_{Gr} \quad \text{Gleichung 29}$$

Darin sind:

$\sum t_{Gr}$  - Summe der Grünzeiten (s)

$t_{Gr1}$  - Grünzeit in Fahrtrichtung 1 (s)

$t_{Gr2}$  - Grünzeit in Fahrtrichtung 2 (s)

$t_U$  - Umlaufzeit (s)

$t_z$  - Zwischenzeit (s)

- Mittlere Wartezeit

Man kann die mittlere Wartezeit eines Fahrzeuges in einem Fahrstreifen mit folgender Formel abschätzen.

$$t_w = \frac{t_U}{2} * \frac{\left(1 - \frac{t_{Gr}}{t_U}\right)^2}{\left(1 - \frac{MSV}{1450}\right)} + \frac{a^2}{2 * m * (1 - a)} \quad \text{Gleichung 30}$$

$$a = \frac{t_U}{t_{Gr}} * \frac{MSV}{1450}; m = \frac{MSV}{3600} \quad \text{Gleichung 31}$$

$t_w$  - mittlere Wartezeit in einer Zufahrt für ein Fahrzeug (s)

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist der höhere Wert der Haltezeiten in den beiden Fahrtrichtungen maßgeblich.

- Baustellenbedingte Zeitkosten mit Berücksichtigung der Wartezeiten

$$Z_B = (t_z + t_H) * JDTLV * ZKS$$

Gleichung 32

Wobei

$Z_B$  - baustellenbedingte tägliche Zeitkosten (€)

$t_H = \{ \max t_w \}$  - mittlere Wartezeit in Fahrtrichtung (h)

JDTLV- jährlicher durchschnittlicher täglicher Schwerverkehr (LKW/24h)

#### 4.2.4 Sensitivitätsanalyse

Bei der Berechnung der Ausgaben benutzt man eine Reihe von Eingangsdaten. Sie sind sehr oft wegen der fehlenden Information oder anderer Ursachen von verschiedenen Quellen angenommen oder nur geschätzt. Das beeinflusst natürlich die Resultate der Berechnungen. Deshalb muss man eine Sensitivitätsanalyse erstellen, um die Auswirkung der Unsicherheit der Eingabedaten auf das Ergebnis aufzuzeigen.

Für die Straßennutzer ist die Baustellendauer von großer Bedeutung, die als zufällig verteilter Parameter betrachtet wird. Die Bandbreite dieser Einflussgröße ist von dem oberen (Maximum) und unteren (Minimum) Wert begrenzt. Sie entsprechen dem Mittelwert (+25 %) und bzw. dem Mittelwert (-25 %). Der Mittelwert ist im Voraus sorgfältig zu kalkulieren.

#### 4.2.5 Die Ergebnisdarstellung in der RVS

In dieser Richtlinie werden nur die zusätzlichen Ausgaben, die während der Instandsetzungsarbeiten entstehen, gegenüber dem Normalzustand berechnet. Die Ergebnisse der Berechnungen müssen für die leichtere Wahl der Erhaltungsmaßnahme tabellarisch dargestellt werden. Für jede Oberbau- oder/und Baustoffvariante ist eine genaue Beschreibung der Instandsetzungs- und Instandhaltungsmaßnahmen, sowie deren mittlerer Fälligkeitszeitpunkt mit nachvollziehbarer Kalkulation der mittleren Baustoffpreise darzulegen [8]. Sie müssen nach dem Ausgaben-Minimum-Kriterium gereiht werden.

## 4.3 Highway Development and Management Model (HDM)

### 4.3.1 Allgemeines

Das Highway Development and Management Modell (HDM-4) ist ein Computermodell, das von der Weltbank entwickelt wird und für Planung von Erhaltungsmaßnahmen und zur Berechnung der Kosten bei der Straßenerhaltung benutzt wird. Dieses Modell simuliert die physikalischen und wirtschaftlichen Bedingungen bei der Durchführung der verschiedenen Erhaltungsszenarien über einen Untersuchungszeitraum. Mit dem HDM kann man wirtschaftliche Beurteilungen der Kosten von unterschiedlichen Erhaltungsmethoden und Straßenkonstruktionen durchführen. Mit seiner Hilfe werden die Gesamtkosten für jedes Jahr und für jede Variante bestimmt; die zukünftigen Kosten mit angenommenen Zinssätzen auf einen Vergleichszeitpunkt diskontiert und aufsummiert. Die Erhaltungsstrategien werden nach den Gesamtkosten gereiht und die günstigste wird gewählt.

Im HDM-4 wird auf die Nutzerkosten besonders acht gegeben, weil sie ein Teil vom Budget der Durchschnittsbürger und auch des Staats sind. Unter dem Begriff „Nutzerkosten“ im HDM versteht man die Kosten für den Betriebsmittelverbrauch, die Reisezeitkosten, die Unfallkosten, die Umweltkosten und die Zusatzkosten, die durch das Vorhandensein einer Baustelle verursacht werden.

Die Zeitkosten werden einerseits durch die eingerichtete Baustelle und andererseits von der geschädigten Längsebenheit geformt. Bei großer Verkehrsdichte können diese Zeitkosten eine so große Rolle spielen, dass sie eine starke Wirkung auf die Wahl der Erhaltungsbauweise haben. Deshalb müssen sie tiefgründig mit Modellen untersucht und bestimmt werden.

### 4.3.2 Zeitkosten infolge der geschädigten Längsebenheit

Die geschädigte Längsebenheit (die Unebenheit) wird durch die Verkehrsbelastung, die Klimaeinflüsse und die ungenügenden Drainageeinrichtungen bedingt. Sie kann eine negative Wirkung auf die Geschwindigkeit der Verkehrsmittel ausüben. Die geschädigte Längsebenheit führt zu größeren Reisezeiten und dadurch entstehen die Zeitkosten.

Die Zeitkosten werden im Prinzip aufgrund der Reisezeit, deren Berechnung anhand der zuvor ermittelten Geschwindigkeit und der Abschnittslänge durchgeführt werden kann, multipliziert mit den Einheitskosten für die Zeit berechnet.

$$Z = \left( \begin{matrix} \text{PWH} * \text{ZKS}_1 + \text{PNH} * \text{ZKS}_2 + \\ \text{CH} * \text{ZKS}_3 + \text{CARGOH} * \text{ZKS}_4 \end{matrix} \right) * 1000 \quad \text{Gleichung 33}$$

Z- die Zeitkosten (€)

PWH- die jährliche Anzahl der Reisetunden während der Arbeitszeit in [h / 1000Fz \* km]

PNH- die jährliche Anzahl der Reisetunden während der Freizeit in [h / 1000Fz \* km]

CH- jährliche Anzahl der Personalstunden in [h / 1000Fz \* km]

CARGOH- jährliche Anzahl der Frachtstunden in [h / 1000Fz \* km]

ZKS<sub>1,2,3,4</sub>- der Zeitkostensatz für die entsprechende Fahrzeitgruppe [€ / h]

Der Zeitkostensatz wird aufgrund von statistischen Untersuchungen für die monetäre Bewertung der Zeit in dem jeweiligen Land der Anwendung bestimmt.

#### 4.3.2.1 Bestimmung der Geschwindigkeit infolge der geschädigten Längsebenheit

Die Geschwindigkeit des Fahrzeuges ist die maßgebende Einflussgröße bei der Berechnung der Fahrzeit. Das Vorhandensein von Unebenheiten kann die Geschwindigkeit verringern. Deshalb muss man die Wirkung der geschädigten Längsebenheit untersuchen. Die Größe der Federbewegung infolge Unebenheiten kann bei konstanter Fahrgeschwindigkeit durch die Relativverschiebung zwischen Rad und Rahmen entlang eines Straßenabschnitts gemessen werden. Mit der Summe der Federwege über die untersuchte Strecke kann die mittlere kumulierte Unebenheit (average rectified slope, ARS) errechnet werden, welche in [m/km] oder [mm/m] angegeben wird. Heute wird die Fahrbahnoberfläche üblicherweise mit modernen Lasergeräten vermessen, aus dem so erhaltenen Profil kann der Rechenwert IRI (International Roughness Index) bestimmt werden.

Im HDM-4 wird nach PATERSON und WATANATADA [11] das Produkt aus der mittleren kumulierten Unebenheit ARS und Fahrgeschwindigkeit V betrachtet und dieser Rechenwert als mittlere kumulierte Geschwindigkeit (ARV) bezeichnet [4].

$$ARV = \frac{V * ARS}{3.6} \quad \text{Gleichung 34}$$

ARV- mittlere kumulierte Geschwindigkeit (mm/s)

ARS- mittlere kumulierte Unebenheit (m/km)

V- Fahrzeuggeschwindigkeit (km/h)

WATANATADA [12] entwickelte die folgende Gleichung zur Berechnung der mittleren kumulierten Geschwindigkeit bei jeder Fahrgeschwindigkeit, abhängig vom IRI (in Österreich in m/km) und dem Typ der Straßenoberfläche [4]:

$$ARV(V) = a2 * IRI * V * \left[ \frac{V}{22.2} \right]^{[a0 + a1 * \ln(a2 * IRI)]} \quad \text{Gleichung 35}$$

Wird in Gleichung 35 für ARV der Maximalwert der mittleren kumulierten Geschwindigkeit (ARVMAX) eingesetzt, und die Gleichung dann umgeformt, so

erhält man die maximale Geschwindigkeit  $V_{ROUGH}$ , die von einem Fahrzeug bei gegebener Längsbenheit gefahren wird.

$$V_{ROUGH} = \exp \frac{\ln \frac{ARV_{MAX}}{a_2 * IRI}}{1 + a_0 + a_1 * \ln(a_2 * IRI)} + \frac{[a_0 + a_1 * \ln(a_2 * IRI)] * \ln(22.2)}{1 + a_0 + a_1 * \ln(a_2 * IRI)} \quad \text{Gleichung 36}$$

Die Koeffizienten  $a_0$ ,  $a_1$  und  $a_2$  für die verschiedenen Oberflächentypen sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Die Koeffizienten  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  für die verschiedenen Oberflächentypen [15]

Surface Type	$a_0$	$a_1$	$a_2$
Asphaltic concrete	0	0	1.15
Surface treated or gravel	1.31	-0.291	1.15
Earth or clay	2.27	-0.529	1.15

Für Decken aus Asphaltbeton wird die Gleichung mit den Annahmen  $a_0$  und  $a_1=0$  vereinfacht.

$$V_{ROUGH} = \frac{ARV_{MAX} * 3.6}{a_2 * IRI} \quad [\text{km / h}] \quad \text{Gleichung 37}$$

Die Werte für  $ARV_{MAX}$  für die einzelnen Fahrzeugtypen enthält Tabelle 5. Für die Anwendung im HDM-4 wurden die australischen Werte für  $ARV_{MAX}$  als voreingestellte Werte herangezogen.

Tabelle 5:  $ARV_{MAX}$  für verschiedenen Fahrzeugtypen [15]

Vehicle Class	Maximum Average Rectified Velocity (mm/s)	
	Brazil	Australia
Passenger cars	259.7	203.0
Light commercial vehicles	239.7	200.0
Medium commercial vehicles	194.0	200.0
Heavy commercial vehicles	177.7	180.0
Articulated trucks	130.9	160.0
Heavy buses	212.8	-

#### 4.3.2.2 Bestimmung der Reisezeiten infolge der Unebenheiten

Die Reisezeit unterteilt sich in vier Kategorien: Passagier während der Arbeitszeit, Passagier während der Freizeit, Personalzeit und Frachtzeit. Nach ihrer Bedeutung wird die Reisezeit für jede Kategorie monetär ausgedrückt.

Die Reisezeit für jede Gruppe wird mit den folgenden Formeln bestimmt.

##### 1. Reisezeit während der Arbeitszeit (Working Passenger-Hours)

$$PWH = \frac{1000 * PAX * PCTWK}{100 * VROUGH} \quad \text{Gleichung 38}$$

PWH- die jährliche Anzahl der Reisezeitstunden während der Arbeitszeit [h / 1000Fz \* km]

PAX- die Anzahl der Fahrgäste (ohne das Personal) im Fahrzeug [Pers / Fz]

PCTWK- Prozentsatz der Fahrgäste, die zu Arbeitszwecken unterwegs sind [%]

VROUGH- die maximale Geschwindigkeit bei gegebener Längsneigung [km / h]

##### 2. Reisezeit während der Freizeit (Non-working Passenger-Hours)

$$PNH = \frac{1000 * PAX * (1 - PCTWK)}{100 * VROUGH} \quad \text{Gleichung 39}$$

PNH- die jährliche Anzahl der Reisezeitstunden während der Freizeit [h / 1000Fz \* km]

##### 3. Personalstunden

$$CH = \frac{1000 * (1 - PP)}{100 * VROUGH} \quad \text{Gleichung 40}$$

CH- die Anzahl der Stunden je Mitarbeiter [h / Pers \* 1000Fz \* km]

PP- prozentueller Anteil der Fahrzeugnutzung für private Zwecke

##### 4. Frachtstunden

$$CARGOH = \frac{1000}{VROUGH} \quad \text{Gleichung 41}$$

CARGOH- die jährliche Anzahl der Frachtstunden [h / 1000Fz \* km]

#### 4.3.2.3 Bestimmung der zusätzlichen Zeitkosten

Die Zusatzzeitkosten  $\Delta Z$  in [€] werden durch den Unterschied zwischen den Zeitkosten bei geschädigter Längsebenheit  $Z_{g.L.}$  und den Zeitkosten bei gutem Straßenoberflächenzustand  $Z_{g.z.}$  berechnet. Sie werden pro Jahr und Straßenabschnitt bestimmt.

$$\Delta Z = Z_{g.L.} - Z_{g.z.} \text{ [€]}$$

Gleichung 42

Ein guter und schlechter Straßenzustand ist vom Erhaltungsstandard abhängig. Die Festlegung solcher Standards geschieht durch Definition eines Schwellenwertes, bei dessen Erreichung eine bestimmte Erhaltungsmaßnahme durchzuführen ist [13]. Die Straßenzustandsentwicklung ist auf der Abbildung 4 dargestellt.

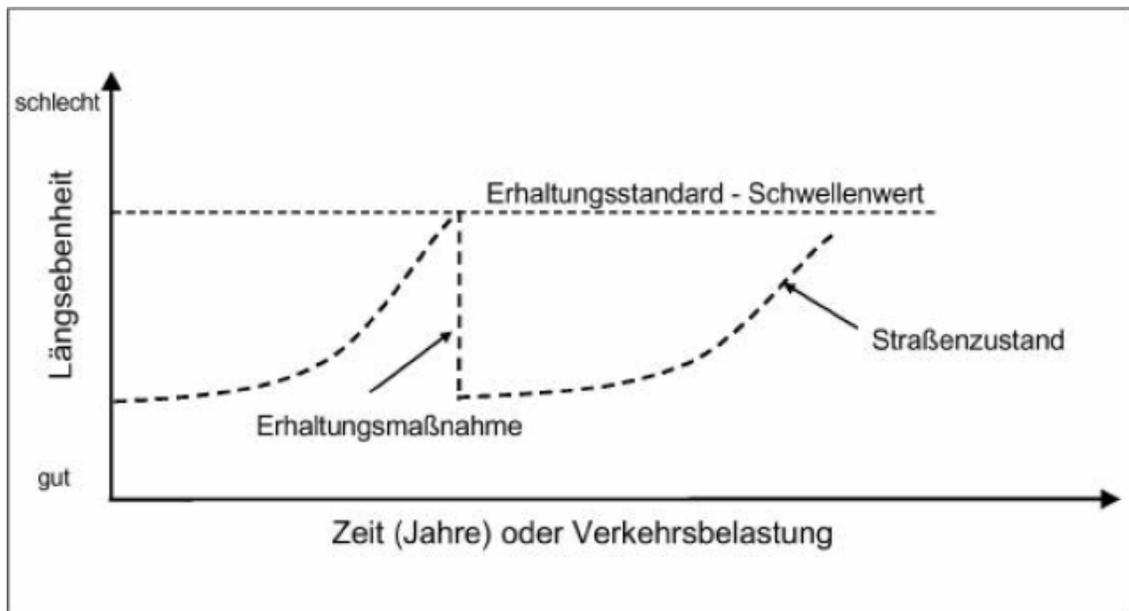


Abbildung 4: Straßenzustandsentwicklung- Festlegung von Erhaltungsstandard [14]

#### 4.3.3 Work Zone Effects Model [15]

Im HDM-4 wird ebenfalls der negative Effekt der Baustelle (the work zone) auf die Nutzerkosten, genauer die zusätzlichen Zeitkosten, berücksichtigt. Das wird durch das Beurteilungsmodell „Work Zone Effects Model“ erfüllt. Die Baustelle verursacht große Fahrzeitkosten aufgrund der Geschwindigkeitsveränderung, der Staubildung und den daraus entstehenden Verzögerungen.

Bevor man die Zeitkosten bestimmen kann, muss man die wichtigen Charakteristiken der Baustelle bewerten und die notwendigen Eingangsdaten für die Berechnung der Zeitverluste abschätzen.

#### 4.3.3.1 Die Wirkungen der Baustelle

Das Durchfahren einer Baustelle ist mit verschiedenen negativen Effekten verbunden. Es führt zu einer Geschwindigkeitsverminderung und daraus folgenden zu einer Reisezeiterhöhung und Staubildung.

Bei der Bewertung der Baustellenwirkung müssen die folgenden Faktoren betrachtet werden:

- die Tageszeit und die Fahrtdauer;
- die Verkehrsstärke ( $Fz/h$  oder  $Fz/d$ );
- die Geschwindigkeitscharakteristiken der Straße;
- die Kapazität der Straße vor und in der Baustellenzone.

Ein Beispiel für die Baustellenwirkung auf die Geschwindigkeit ist in der Abbildung 5 dargestellt. In der Nähe der Baustelle ist der Fahrer gezwungen, seine Geschwindigkeit (Anfangsgeschwindigkeit) zu vermindern. Falls es zu einer Staubbildung kommt, muss der Fahrer stoppen und warten, bis sich die Schlange vorwärts bewegt. Wenn er schon das Ende der Schlange erreicht hat, kann er beschleunigen bis zum Erreichen der Baustellengeschwindigkeit. Am Ende der Baustelle kann man schon auf die Anfangsgeschwindigkeit beschleunigen.

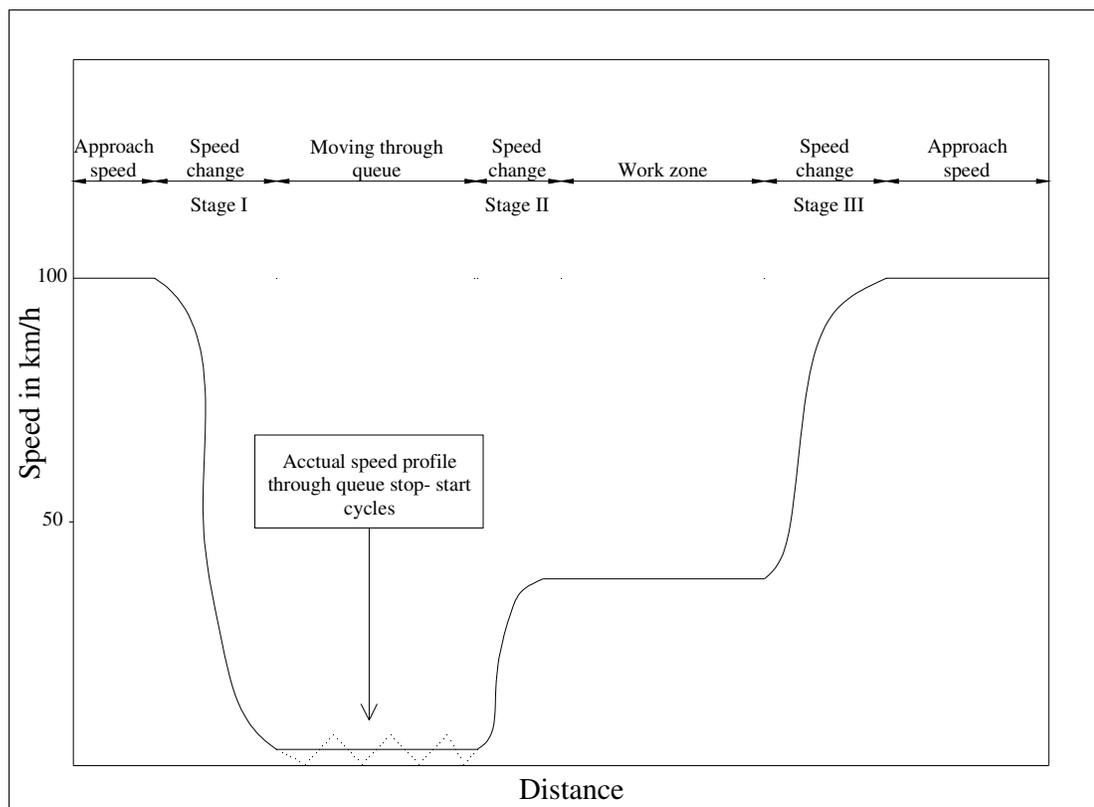


Abbildung 5: Beispiel des Effekts der Baustellenzone auf die Fahrgeschwindigkeit [15]

Bei der Baustellenmodellierung im Work Zone Effects Modell muss man die verschiedenen Etappen der Geschwindigkeitsveränderung, den Stau effekt und den Effekt der Bewegung mit geringerer Geschwindigkeit in der Baustellenzone berücksichtigen.

Zur Ermittlung des Geschwindigkeitsverhaltens wird eine Unterscheidung nach dem Baustellentyp, der von dem Rang der Straße und der Anzahl der geschlossenen Fahrstreifen abhängig ist, durchgeführt. Die nachfolgenden Fälle sind auch in Abbildung 6 dargestellt:

**Fall 1:** Mehrstreifige Autobahn mit einer oder mehreren gesperrten Fahrstreifen (die eine oder die beiden Richtungen sind beeinträchtigt)

**Fall 2:** Schnellstraße mit zwei Streifen je Fahrtrichtung mit einer gesperrten Fahrbahn (der Verkehr in beiden Richtungen fließt in einer Fahrbahn)

**Fall 3:** Mehrstreifige Autobahn, Autobahn mit zwei Streifen je Fahrtrichtung oder zweistreifige Straße vorübergehend geschlossen (der Verkehr stoppt)

**Fall 4:** Kombination zwischen dem Fall 3 und Fall 1/ Fall 2

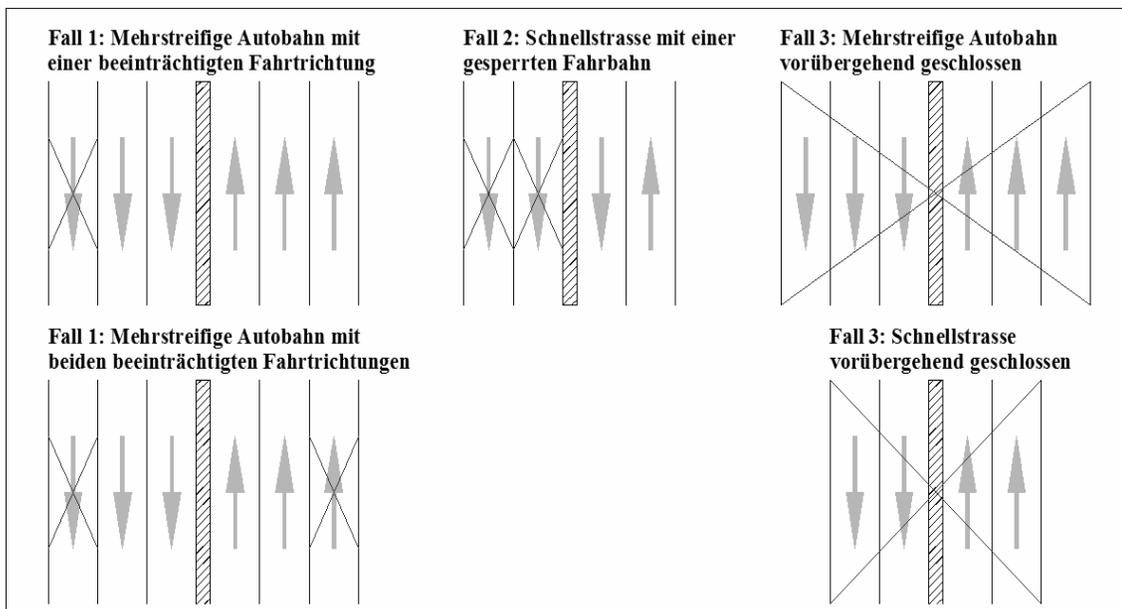


Abbildung 6: Baustellentypen

#### 4.3.3.2 Beschreibung des Simulationsmodells

Mit diesem Modell wird die Einfahrtzeit jedes Fahrzeuges erzeugt. Von ihr und der Kapazität des Baustellenabschnitts wird die Abfahrtzeit berechnet. In Abhängigkeit von der Kapazität und der Verkehrsstärke stellt das Modell fest, ob die Fahrzeuge stoppen müssen oder ob sie mit reduzierter Geschwindigkeit durchfahren können.

Die Elemente, die die Kapazität der Baustellenstrecke formen, sind die Breite des Fahrstreifens, die seitlichen Hindernisse, die Längsneigung, die Fahrzeugklasse, die Straßentrassierung und die Oberflächenbedingungen. Für die Berechnungen wird der kritische Wert an jener Stelle der Strecke, wo diese Bedingungen am schlechtesten sind, gewählt. Falls es nicht genug Daten für die Kapazität gibt, wird empfohlen, dass man 1000 Fz/h/Streifen für Autobahnen mit zwei Streifen pro Richtung annimmt. Für die Berechnung im HDM-4 muss die Kapazitätseinheit von Fz/h/Str. in PCSE umgelegt werden. Das PCSE (Passenger Car Space Equivalent) ist jene Anzahl an zusätzlichen Pkws, welche im Verkehrsstrom den selben Platzbedarf haben, wie das betrachtete (bzw. „ersetzte“) Fahrzeug. Die Werte der PCSEs sind in Tabelle 6 gegeben.

**Tabelle 6: PCSEs für den entsprechenden Straßentyp [15]**

Road Type	Car	LDV	Heavy Bus	Light Truck	Medium Truck	Heavy Truck	Articulate d Truck
Single Lane	1.0	1.0	2.2	1.5	1.8	2.4	3.0
Intermediate	1.0	1.0	2.0	1.4	1.6	2.0	2.6
Two Lane	1.0	1.0	1.8	1.3	1.5	1.8	2.2
Wide Two Lane	1.0	1.0	1.8	1.3	1.5	1.8	2.2
Four Lane	1.0	1.0	1.8	1.3	1.5	1.8	2.2

Man muss bei der Berechnung der Kapazität auch die Fahrzeugtypen, die den Verkehrsstrom bilden, kennen. Wenn keine Information darüber vorhanden ist, muss angenommen werden, dass die PKW 85 % und die LKW 15 % der gesamten Belastung ausmachen.

Die stündliche Verkehrsstärke oder das Standardstromprofil sind die notwendigen Eingangsdaten für die Erarbeitung der stündlichen Verteilung des Verkehrs. Das Standardstromprofil stellt den Prozentanteil des JTDVs (AADT), der den betrachteten Straßenquerschnitt befährt, für jede Stunde während des Tages dar. Eine beispielhafte Verteilung des JTDVs während des Tages ist auf der Abbildung 7 gezeigt.

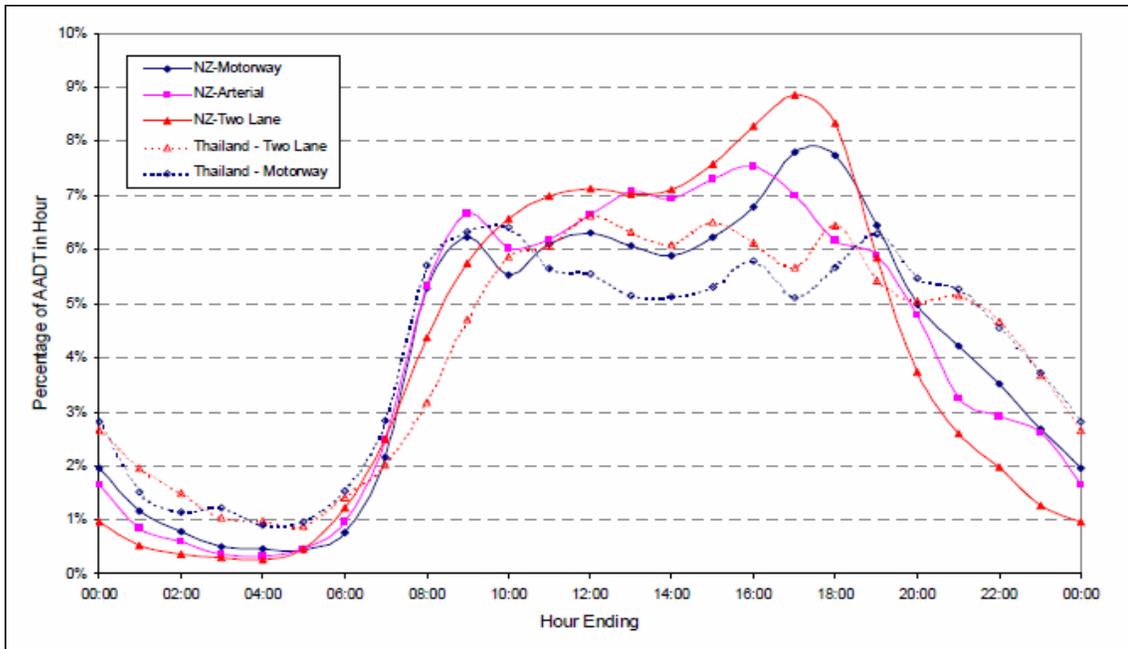


Abbildung 7: Beispiel für das 24-stündliche Standardstromprofil [15]

Von dem erstellten Simulationsmodell bekommt man die notwendigen Daten für die Berechnung der Zeitverluste. Diese Daten sind die mittlere Verzögerung pro Fahrzeug und die mittlere Länge der Fahrzeugkolonne. Sie werden in den Abbildungen dargestellt.

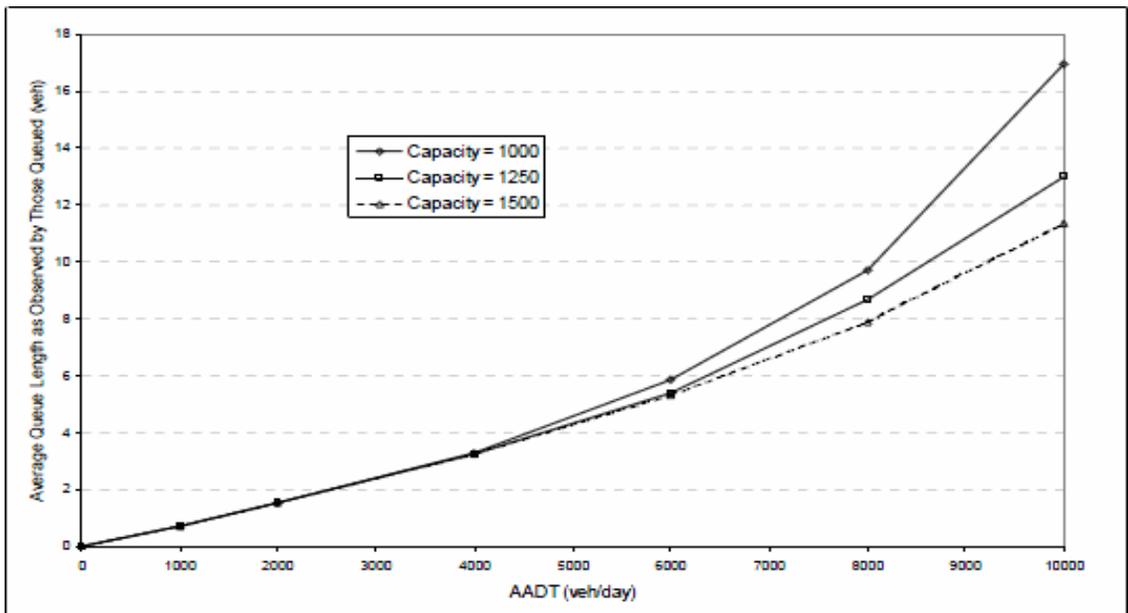


Abbildung 8: Die mittlere Länge der Fahrzeugkolonne (Fz) gegenüber dem JDTV (AADT) für Fall 2 [15]

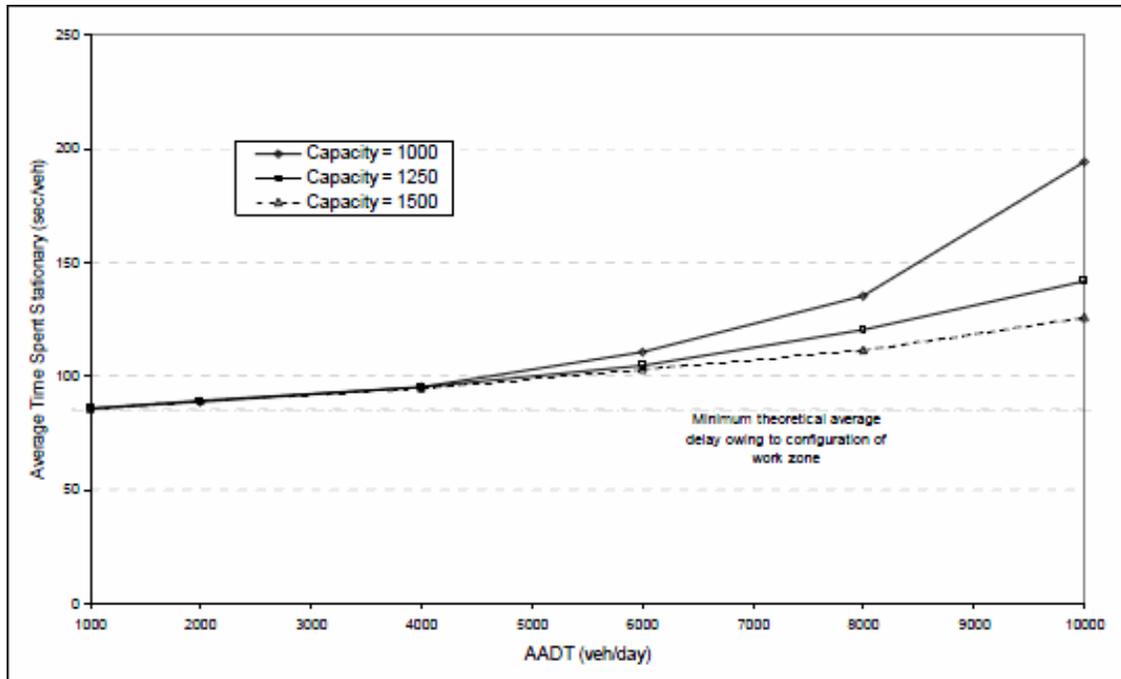


Abbildung 9: Die mittlere Verzögerung pro Fahrzeug (s/Fz) gegenüber dem JDTV (AADT) für Fall 2 [15]

Die Abbildungen 8 und 9 stellen die mittlere Länge der Fahrzeugkolonne und die mittlere Verzögerung pro Fahrzeug im Fall, wenn die beiden Fahrtrichtungen in einer Fahrbahn gesammelt werden. Es ist zu erwähnen, dass die mittlere Länge der Kolonne null ist, wenn der Verkehr (JDTV) gering ist. Aber die mittlere Verzögerung hat einen Mindestwert trotz der Verminderung des Verkehrs. Hier wird auch der Einfluss der Kapazität der Strecke auf diesen Parametern dargestellt.

Die nächsten drei Abbildungen 10, 11 und 12 illustrieren die Einwirkung der Verkehrsmenge (JDTV) und der Baustellenlänge auf die Halte- und Fahrtzeit im Stau und auf die Fahrtzeit beim Durchfahren der Baustelle. Bei erster kann man sehen, dass die kleine Baustellenlänge sogar bei höherem JDTV die gleiche Haltezeit verursacht. Das gilt nicht für die Abbildung 11, weil bei einem bestimmten JDTV-Wert die Fahrtzeiten sich aufgrund des Staus stark zu erhöhen beginnen. Die dritte Abbildung stellt dar, dass die Verkehrsmenge nicht so großen Einfluss auf die gesamte Fahrtzeit für das Durchfahren der Baustelle hat, wie die Baustellenlänge. Sogar bei einer kleinen Baustellenlänge ist die Verkehrsmenge von geringerer Bedeutung.

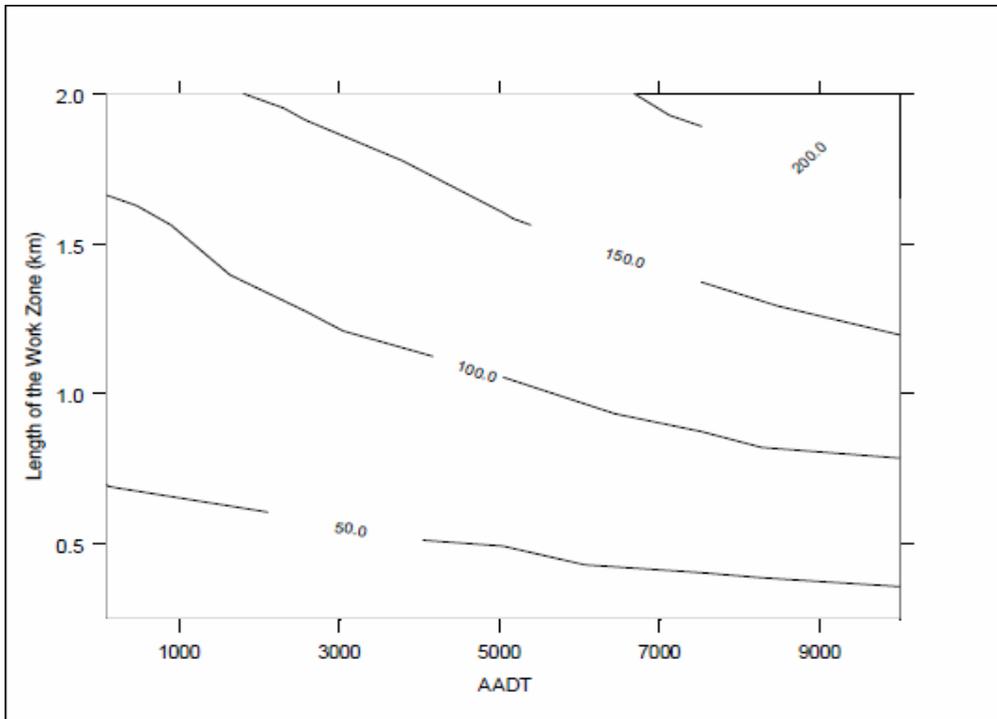


Abbildung 10: Die Einwirkung des JDTVs und der Baustellenlänge auf die Haltezeit im Stau [15]

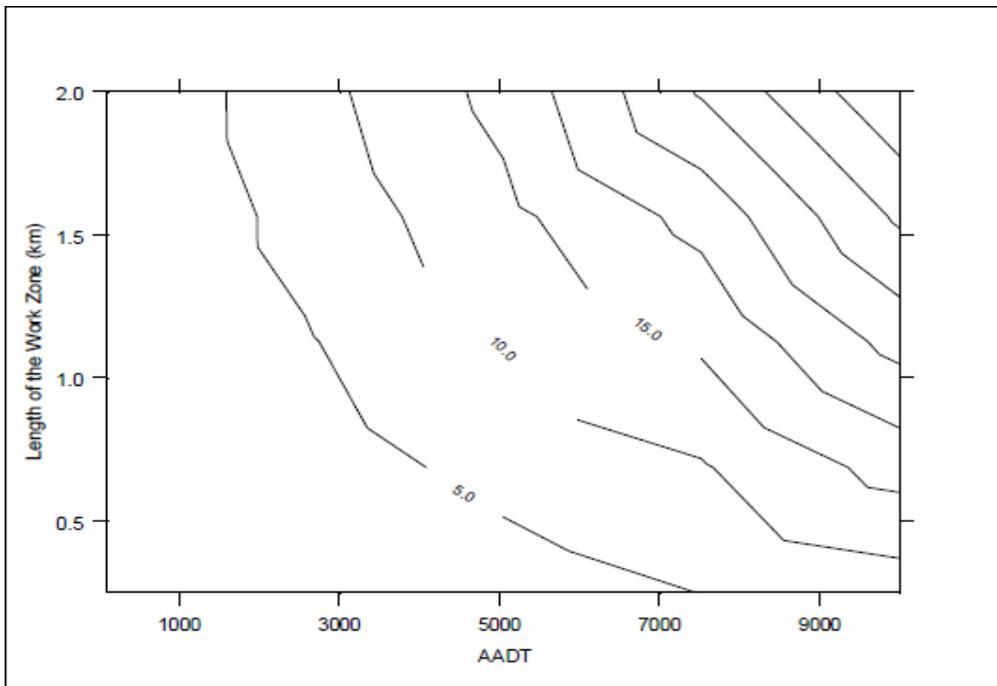


Abbildung 11: Die Einwirkung des JDTVs und der Baustellenlänge auf die Fahrtzeit im Stau [15]

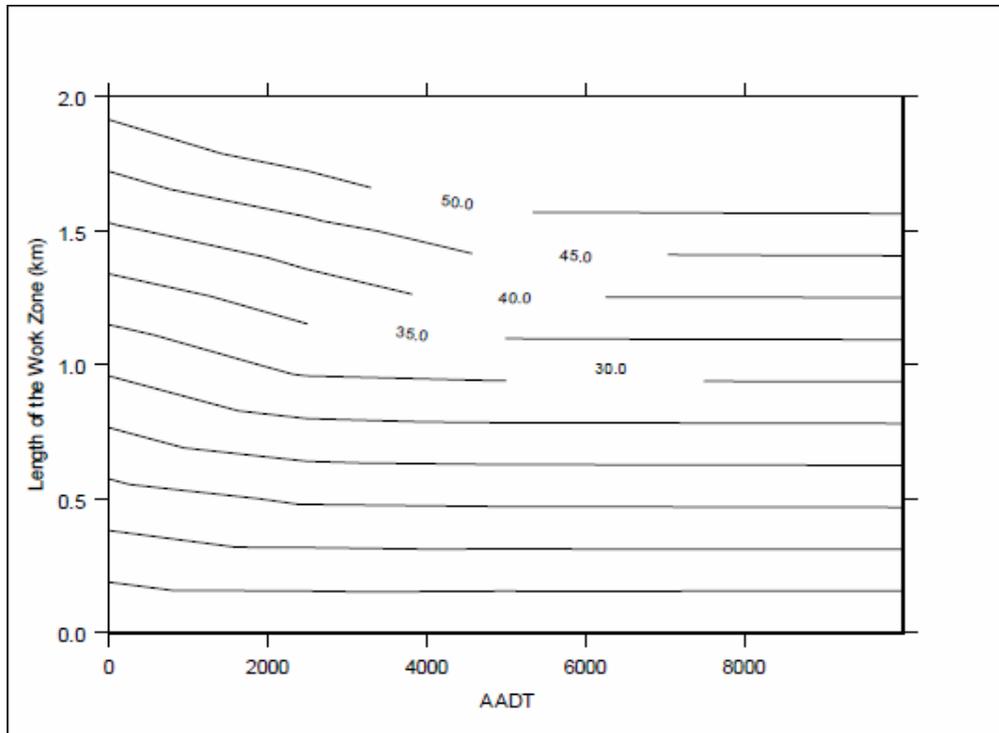


Abbildung 12: Die Einwirkung des JDTVs und der Baustellenlänge auf die mittlere Fahrtzeit beim Durchfahren der Baustelle [15]

#### 4.3.3.3 Berechnung der Zusatzzeit infolge der Geschwindigkeitsänderung

Bei der Berechnung der Zusatzzeit muss man zwei Varianten betrachten. Im ersten Fall entsteht beim Durchfahren der Baustelle ein Stau, der nicht nur zur Reduzierung der Geschwindigkeit, sondern auch zum Halt des Fahrzeugs führt (Abbildung 3). Im zweiten Fall reduziert das Fahrzeug seine Geschwindigkeit, aber fährt die Baustelle ohne zu stoppen durch.

Die Veränderungen der Geschwindigkeit werden in drei Etappen geteilt.

1. Von der Anfangsgeschwindigkeit bis zum Stillstand (Abb.5 Stage 1)
2. Von dem Stillstand bis zu der Baustellengeschwindigkeit (Abb.5 Stage 2)
3. Von der Baustellengeschwindigkeit bis zu der Anfangsgeschwindigkeit (Abb.5 Stage 3)

Die Berechnung der Zeit für Beschleunigung und Verzögerung wird mit der Hilfe des ARRB Polynomial Acceleration Models durchgeführt. Dieses Modell berücksichtigt die Abhängigkeiten der Beschleunigung/Verzögerung von der Zeit und der Geschwindigkeit von der Zeit während der drei Etappen. Einige Annahmen werden gemacht, damit das Modell diese Zusammenhänge darstellen kann und die Grundlage für die Bestimmung der Beschleunigungs- und Verzögerungszeiten in jedem Moment bildet. Auf die Abbildungen 13 und 14 werden Beispiele für das Geschwindigkeitsprofil und das Beschleunigungsprofil gezeigt, die vom Polynomial Modell ermittelt wurden. Das Intervall der Geschwindigkeitsänderungen ist 100-0-100 km/h.

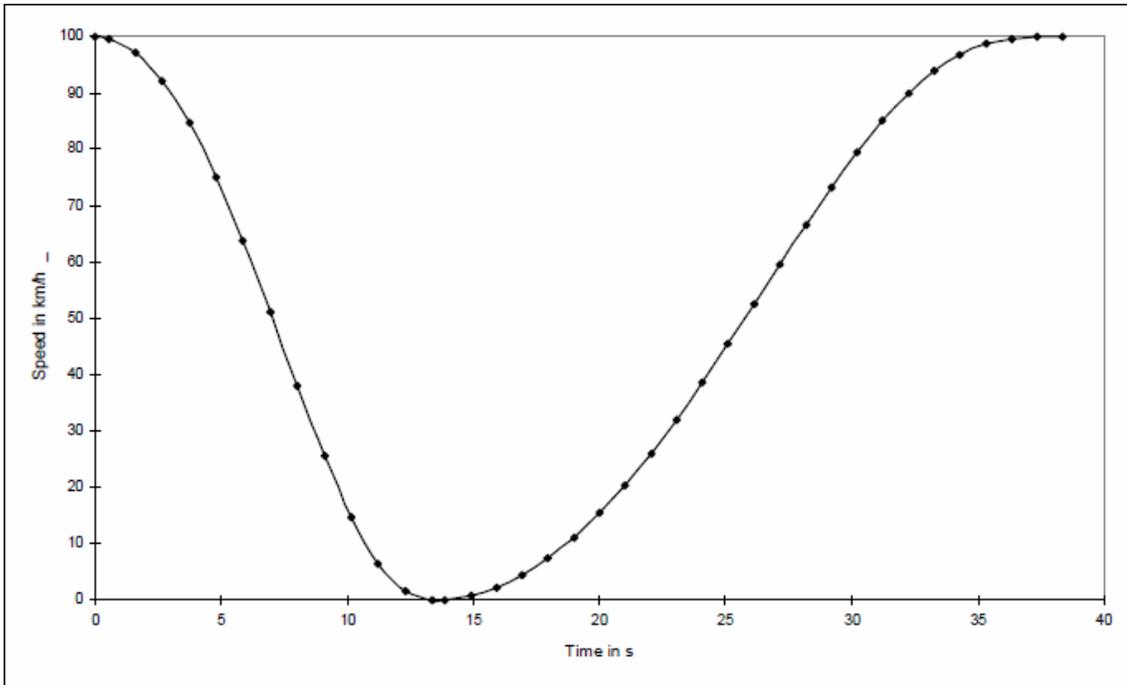


Abbildung 13: Das Geschwindigkeitsprofil im Intervall 100-0-100 km/h [15]

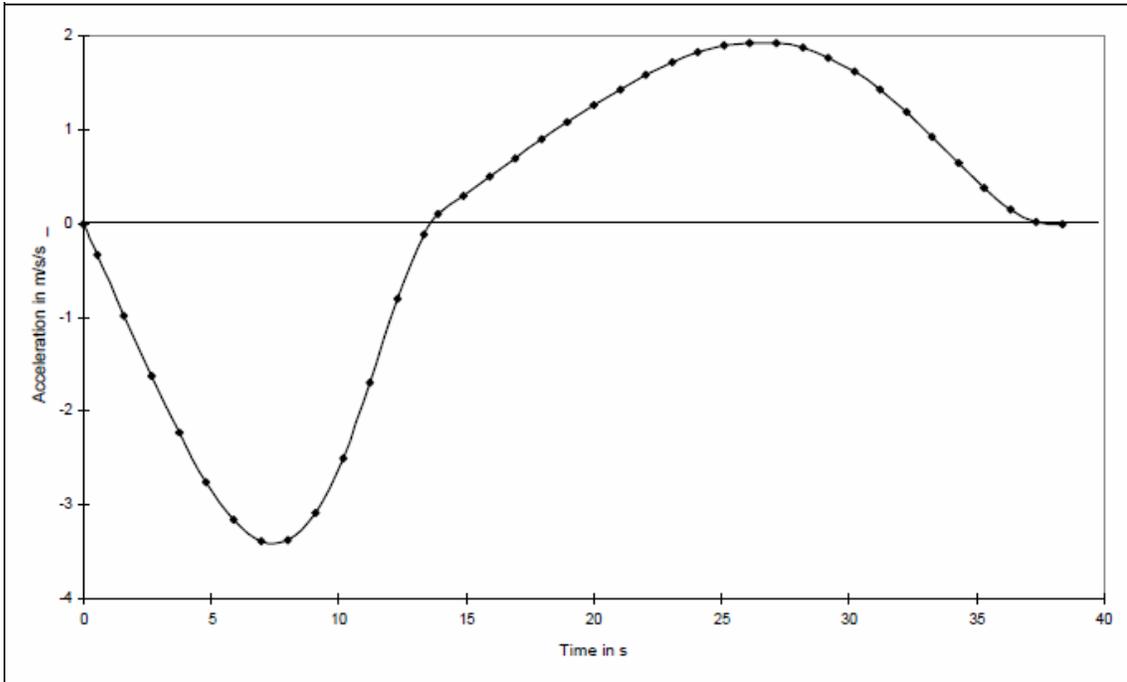


Abbildung 14: Das Profil der Beschleunigungszeit  $t_a$  und der Verzögerungszeit  $t_d$  im Intervall 100-0-100 km/h [15]

Die Beschleunigungs- und die Verzögerungszeit werden nach dem Polynomial Modell folgendermaßen berechnet. Diese Gleichungen gelten für Pkw.

$$t_a = \frac{v_{\text{elinit}} - v_{\text{elinit}}}{0.486 - 0.006 * v_{\text{elinit}} + 0.123 * \sqrt{v_{\text{elinit}} - v_{\text{elinit}}}} \quad \text{Gleichung 43}$$

$$t_d = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{3.6 * (v_{\text{elinit}} - v_{\text{elinit}})}{1.7 + 0.238 * \sqrt{3.6 * (v_{\text{elinit}} - v_{\text{elinit}})} - 0.0324 * v_{\text{elinit}}} \\ \sqrt{193.2 * \left(1 - \frac{v_{\text{elinit}}}{v_{\text{elinit}}}\right)} \end{array} \right\} \quad \text{Gleichung 44}$$

ta- die Beschleunigungszeit in s

td- die Verzögerungszeit in s

velfin- die Endgeschwindigkeit in m / s

velint- die Anfangsgeschwindigkeit in m / s

Bei der Bestimmung der Verzögerungszeit wird die erste Gleichung bei niedrigen Geschwindigkeiten und die zweite bei höheren Geschwindigkeiten angewandt.

Für die anderen Verkehrstypen sind die Werte in Tabelle 7 als Relationswerte der Pkw Beschleunigungs- und Verzögerungszeiten angeführt.

Tabelle 7: Relativwerte zur Berechnung der Beschleunigungs- und Verzögerungszeit [15]

Vehicle Class	Time to Accelerate/Decelerate Relative to Passenger cars (per cent)	
	Accelerate	Decelerate
Passenger Cars	100	100
Light Delivery Vehicles	115	100
Medium Trucks	120	105
Heavy Trucks	140	120
Heavy Trucks Towing	160	130
Heavy Buses	120	105

#### 4.3.3.4 Bestimmung der Zeitkosten

Die Zusatzzeitkosten für eine Geschwindigkeitsveränderungsphase werden definiert als die Differenz zwischen den Zeitkosten, wenn das Verkehrsmittel einen Abschnitt mit und ohne Störungen durchfährt:

$$\text{ADDCST} = (\text{DECCST} + \text{ACCCST}) - \text{UNICST} \quad \text{Gleichung 45}$$

Wo

**ADDCST- Zusatzzeitkosten aufgrund der Geschwindigkeitsveränderung**

**DECCST- Zeitkosten bei der Verminderung von der Anfangsgeschwindigkeit bis zur Endgeschwindigkeit**

**ACCCST- Zeitkosten aufgrund der Beschleunigung von der Endgeschwindigkeit bis zur Anfangsgeschwindigkeit**

**UNICST- Zeitkosten beim Fahren mit der konstanten Anfangsgeschwindigkeit**

$$\text{DECCST} = t_d * \text{ZKS} [\text{€}] \quad \text{Gleichung 46}$$

$$\text{ACCCST} = (t_a + \text{adtima} + \text{adtimd}) * \text{ZKS} [\text{€}] \quad \text{Gleichung 47}$$

$$\text{UNICST} = t_0 * \text{ZKS} [\text{€}] \quad \text{Gleichung 48}$$

$t_0$ - Fahrzeit beim Fahren mit der konstanten Anfangsgeschwindigkeit

**ZKS- Zeitkostensatz**

Die Zeitkosten müssen für jede Phase der Geschwindigkeitsveränderung bestimmt werden. Die Beschleunigungs- und die Verzögerungszeitkosten werden geteilt, weil bei der Beschleunigungsphase nicht immer die Anfangsgeschwindigkeit erreicht wird. Die Wartezeitkosten werden dann hinzugefügt.

Diese Zusatzkosten können direkt durch die Zusatzzeit, die von der Beschleunigung und Verzögerung abhängt, berechnet werden:

$$\text{adtimd} = \frac{3.6 * (\text{velinit} - \text{velfin})}{a0 + a1 * (3.6 * \text{velinit}) + a2 * \sqrt{3.6 * (\text{velinit} - \text{velfin})}} \quad \text{Gleichung 49}$$

$$\text{adtima} = \frac{3.6 * (\text{velfin} - \text{velinit})}{a0 + a1 * (3.6 * \text{velfin}) + a2 * \sqrt{3.6 * (\text{velfin} - \text{velinit})}} \quad \text{Gleichung 50}$$

**adtima- Zusatzfahrzeit aufgrund der Beschleunigung in (s)**

**adtimd- Zusatzfahrzeit aufgrund der Verzögerung in (s)**

Die Parameter  $a_0$ ,  $a_1$  und  $a_2$  sind in Tabelle 8 dargestellt.

**Tabelle 8: Bestimmung der Parameter  $a_0$ ,  $a_1$  und  $a_2$  [15]**

Vehicle Class	Equation	$a_0$	$a_1$	$a_2$	Standard Error
Passenger Cars	adtima	12.46	0.1059	-1.5102	0.29
	adtimd	9.25	0.2548	-2.0707	0.16
Light Delivery Vehicles	adtima	10.87	0.0924	-1.3175	0.33
	adtimd	9.25	0.2548	-2.0707	0.16
Medium Trucks and Medium Buses	adtima	10.42	0.0886	-1.2628	0.35
	adtimd	8.79	0.2421	-1.9672	0.17
Heavy Trucks	adtima	8.91	0.0758	-1.0806	0.40
	adtimd	7.68	0.2115	-1.7187	0.19
Articulated Trucks	adtima	7.84	0.0667	-0.9504	0.46
	adtimd	7.12	0.1962	-1.5944	0.21
Heavy Buses	adtima	10.31	0.0877	-1.2498	0.35
	adtimd	8.79	0.2421	-1.9672	0.17

## 4.4 Resümee der drei Untersuchungssysteme

Die drei Arten von Untersuchungshilfen der Zeitkosten stellen die Möglichkeit zur Berechnung der Zeitkosten bei verschiedenen Bedingungen und Erhaltungsmaßnahmen vor. Die Zeitkosten infolge einer Baustelle werden in den drei berücksichtigten Richtlinien betrachtet. Die Berechnung der Zeitkosten infolge eines schlechten Straßenzustandes wird in den Industriestaaten selten berücksichtigt, weil dort die Straßennetze einen guten Zustand haben und die folgenden Zeitkosten nicht von so großer Bedeutung im Vergleich mit jenen infolge einer Baustelle sind. Trotzdem bietet das HDM die Möglichkeit die Zeitverluste infolge der Straßenunebenheiten zu berechnen.

In den deutschen Richtlinien (EWS) werden die Nutzen und Kosten von jeder Maßnahme bestimmt und gegenübergestellt. Die Zusatzkosten werden durch den Vergleich der Zeitkosten in den beiden Fällen: ohne und mit der Durchführung von einer Erhaltungsmaßnahme generiert. Der sogenannte „O-Fall“ (ohne Maßnahme) steht als Ausgangspunkt bei der Berechnung der Zusatzkosten für verschiedene Erhaltungsvarianten. Danach kann eine Reihenfolge der Maßnahmen ausgearbeitet werden und die optimale Erhaltungsvariante gewählt werden. Die EWS berücksichtigen nicht die Möglichkeit der Entstehung eines Staus oder die Führung des Verkehrs mit einer Signalanlage.

Diese Varianten werden in den österreichischen Richtlinien berücksichtigt. Die Zeitkosten infolge der Verkehrsführung mit einer Signalanlage oder bei mindestens einem Fahrstreifen pro Fahrtrichtung (Umleitung) werden berechnet und den Zeitkosten des unbehinderten Straßenabschnitts gegenübergestellt. Der Nachteil der RVS 03.08.71 ist, dass die Zeitkosten nur für den Schwerverkehr bestimmt werden, weil die Daten für den Personenverkehr als unsicher betrachtet werden.

Eine sehr ausführliche Darstellung des Verkehrs in der Baustelle gibt das HDM. Die Entstehung des Staus und die Entwicklung der Zeitkosten daraus werden erläutert. Die Einwirkung der Baustelle auf den Verkehr wird durch Modelle beschrieben und eine Software wird entwickelt, die die verschiedenen Fälle berücksichtigt und die Zeitkosten daraus berechnet. Das HDM berücksichtigt noch die geschädigte Straßenoberfläche und als Folge daraus die Verringerung der Geschwindigkeit. Mit der Hilfe der Formel für Bestimmung der Fahrtzeit nach den verschiedenen Zwecken besteht die Möglichkeit, dass die Zeitverluste berechnet werden.

Für die Berechnungen der Zeitkosten sind in diesen Untersuchungen einige wichtige Einflussgrößen notwendig. Die Hauptparameter sind die Verkehrsmenge, die mit dem JDTV (jährlicher durchschnittlicher täglicher Verkehr) bzw. im HDM-4 AADT ausgedrückt wird, die zulässige Geschwindigkeit der Fahrzeuge im Allgemeinen und im Baustellenbereich, die Länge der Baustelle oder der Umleitung und der Zeitkostensatz, der in jedem Land aufgrund seines wirtschaftlichen Zustands bestimmt wird. Natürlich sind für die Berechnungen in den verschiedenen Richtlinien auch andere Eingangsdaten nötig. Sie ergeben sich aus der konkreten Situation und Maßnahme, oder wenn sie nicht vorhanden sind, können sie durch Annahmen oder von Statistiken bekommen werden. Eine Software, wie jene, die in HDM beschrieben wird, erleichtert die Aufgabe für die Darstellung der Situation und die Berechnung der daraus folgenden Zeitkosten.

Die jeweils herangezogene Berechnungsweise der Zeitkosten haben ihre Vorteile und Nachteile. Sie werden nach dem entsprechenden Straßennetz und Straßenzustand für die Erhaltungsbedürfnisse jedes Landes ausgearbeitet.

## 5. ANWENDUNGSBEISPIEL

Für einen Straßenabschnitt werden Erhaltungsmaßnahmen geplant. Die Auswirkungen auf den Straßennutzer werden mit der Hilfe der schon erwähnten EWS, RVS 03.08.71 und dem HDM-4 geschätzt. Die beiden gegebenen Erhaltungsstrategien und der Fall ohne Maßnahme sollen verglichen werden und die optimale Variante aufgrund der Zeitkosten gewählt werden.

Gegeben ist eine Asphaltbetonstrecke mit einer Länge von 750 m. Die Decke wurde im Jahr 2000 und die Tragschicht im Jahr 1985 hergestellt. Der JDTV im Jahr 2000 betrug 13.300 Fz/24h und der JDTLV 2.500 Fz/24h. Die zulässigen Geschwindigkeiten für Pkw und Lkw sind 100 km/h bzw. 80 km/h.

Für diese Strecke müssen Erhaltungsmaßnahmen aufgrund des verschlechterten Straßenzustands geplant werden. Die möglichen Erhaltungskonzepte sind die folgenden (die Kosten beziehen sich stets auf das Jahr der Maßnahme und werden für 100 m angegeben):

**Strategie A:** Im Jahr 2012 wird eine Deckschichtmaßnahme mit Kosten von 18.300 € und einer Dauer von 6 Tagen und im Jahr 2020 eine Erneuerung des Oberbaues für 62.900 € und einer Dauer von 11 Tagen durchgeführt.

**Strategie B:** Sie schlägt eine Erneuerung des Oberbaues im Jahr 2015 für 61.000 € mit einer Dauer der Maßnahme von 11 Tagen vor.

Der Baustellenbereich umfasst stets die gesamte Strecke von 750 m. Die maximale erlaubte Geschwindigkeit im Baustellenbereich ist mit 60 km/h begrenzt. Die Diskontrate kann nach der langfristigen Wirtschaftslage mit 3.5 % angesetzt werden.

Der Zeitkostensatz wird aus der Tabelle 2 übernommen.

Die Entwicklung der Längsebenheit während der Jahre wird in Tabelle 9 mit Hilfe des IRI dargestellt.

Tabelle 9: Die Verminderung der Längsebenheit ausgedrückt im IRI (m/km)

Jahr	2008	2009	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2018	2020
O-Variante	1,73	1,85	2,09	2,21	2,33	2,46	2,59	2,72	2,99	3,28
Strategie A	1,73	1,85	2,09	0,5	0,53	0,55	0,68	0,81	1,09	0,5
Strategie B	1,73	1,85	2,09	2,21	2,33	2,46	0,5	0,55	0,71	0,99

## 5.1 Lösung der Aufgabe nach den EWS

Der Nutzen der Fahrzeitveränderung im betrachteten Jahr wird durch die folgende Formel bestimmt:

$$NT_a = TK_{a,vg} - TK_{a,pl} [\text{€} / a]$$

### Berechnung der Zeitkosten

Die Zeitkosten eines Jahres werden mit dieser Formel bestimmt:

$$TK_{a,Netz} = \sum_{Fz} T_{a,Netz,Fz} * WT_{Fz} [\text{€} / a]$$

$T_{a,Netz,Fz}$  ist die Fahrzeit der Fahrzeuggruppen P, L, Z und B.

$WT_{Fz}$  ist der Zeitkostensatz für die betrachteten Fahrzeuggruppe P, L, Z und B aus Tabelle 2.

$$T_{a,Netz,Fz} = \sum_i \sum_R \sum_t \left( \frac{Q}{V} \right)_{i,R,t} * T_t * LG_i [\text{Kfz} * h / a]$$

$T_t$  ist die Anzahl der Stunden pro Jahr mit annähernd gleicher Verkehrsstärke. Für die Normalwerkstage (w) werden sie 4.124 h, für die Urlaubswerkstage (u) 1.724 h und für die Sonn- und Feiertage (s) 812 h angenommen.

$LG=0,75$  km – die Länge der Baustelle

$V=60$  km/h- im Baustellenbereich

Die Verkehrsstärke ist so zu berechnen:

$$Q = k * \frac{DTV}{RI}$$

Aber zuerst muss man die Verkehrsstärken DTV und DTLV nach der Fahrtzweckgruppe v=w, u, s aufteilen:

$$DTLV_{GV,w} = DTLV_{GV,u} = 1,2 * DTLV_{GV,w+u+s} [\text{Kfz} / 24h]$$

$$DTLV_{GV,s} = 0,04 * DTLV_{GV,w+u+s} [\text{Kfz}/24h]$$

Tabelle 10: Berechnung der DTLV [Kfz / 24h] für die entsprechenden Jahre

Jahr	$DTLV_{GV,w+u+s}$	$DTLV_{GV,w}$	$DTLV_{GV,u}$	$DTLV_{GV,s}$
2012	3 362	4 035	4 035	134
2015	3 621	4 345	4 345	145
2020	4 097	4 916	4 916	164

Die k - Werte werden aus Tabelle 3 für den Gesamtverkehr mit mehr als 10.000 Kfz/24 h und Güterverkehr für sonstige Straßen (Straßentyp 2) übernommen. Sie sind:

$$k_{ges,w} = 0,0343 \quad k_{GV,w} = 0,0361$$

$$k_{ges,u} = 0,0291 \quad k_{GV,u} = 0,0283$$

$$k_{ges,s} = 0,0187 \quad k_{GV,s} = 0,0185$$

Der Güterverkehr teilt sich in drei Untergruppen: Lkw (L), Lastzug (Z) und Bus (B).

Man muss die Verkehrsstärke für jede dieser Untergruppen berechnen.  $f_B$  und  $f_Z$  sind 0,08 bzw. 0,34 (Tabelle 10 aus [5]).

$$Q'_{GV,v} = \frac{Q_{GV,v}}{(1 - f_B)} [\text{Kfz} / \text{h}]$$

$$Q_{Z,v} = f_Z * Q'_{GV,v} [\text{Kfz} / \text{h}]$$

$$Q_{B,v} = f_B * Q'_{GV,v} [\text{Kfz} / \text{h}]$$

$$Q_{L,v} = [1 - (f_Z + f_B)] * Q'_{GV,v} [\text{Kfz} / \text{h}]$$

$$Q_P = k_{ges} * \frac{DTV_{ges}}{RI} - Q_{GV} [\text{Kfz} / \text{h}]$$

Tabelle 11: Die Verkehrsstärke Q [Kfz/h] geteilt in Fahrzeugtype und in Fahrtzweckgruppe

Jahr	$Q_{GV,w}$	$Q_{GV,u}$	$Q_{GV,s}$	$Q_{GV,v}$	$Q'_{GV,v}$	$Q_{Z,v}$	$Q_{B,v}$	$Q_{L,v}$	$Q_{P,w}$	$Q_{P,u}$	$Q_{P,s}$
2012	73	57	1	131	143	48	11	83	224	194	160
2015	78	61	1	141	154	52	12	89	235	205	170
2020	89	70	2	160	174	59	14	101	253	221	185

Die Berechnung der Fahrzeit T wird unter der Berücksichtigung des Fakts, dass die Dauer der Baustellen kleiner als ein Jahr ist, durchgeführt. Das wird durch die Abminderung der Geschwindigkeit proportional der Baustellenzeit wieder gespiegelt.

$$T_{P,w} = \left( \frac{Q_{P,w}}{V} \right) * T_w * LG [\text{Kfz} * \text{h} / \text{a}]$$

**Tabelle 12: Die Fahrzeit T [Kfz \* h / a] nach der Fahrzeugtype und Fahrtzweckgruppe**

Jahr	T <sub>P,w</sub>	T <sub>P,u</sub>	T <sub>P,s</sub>	T <sub>Z,v</sub>	T <sub>B,v</sub>	T <sub>L,v</sub>
2012	185	67	26	65	15	110
2015	364	132	52	130	31	222
2020	392	143	56	147	35	252

$$TK_{a,Netz} = \sum_{Fz} T_{a,Netz,Fz} * WT_{Fz} = T_{P,w+u} * WT_{P,w+u} + T_{P,s} * WT_{P,s} + T_{Z,v} * WT_{Z,v} + T_{B,v} * WT_{B,v} + T_{L,v} * WT_{L,v} [ / a]$$

**Tabelle 13: Die Zeitkosten der Jahre in welchen Maßnahmen auftreten [€ / a]- bei dem Bestand einer Baustelle**

Jahr	TK <sub>a,Netz</sub>	TK <sub>a,Lkw</sub>
2012	6.803	5.316
2015	13.668	10.735
2020	15.308	12.146

Berechnung der Zeitkosten für die entsprechenden Jahre bei einem guten Straßenzustand, ohne Erhaltungsmaßnahmen und beim Fahren mit der zulässigen Geschwindigkeit. Die Fahrzeiten sind in diesem Fall kleiner aufgrund der höheren Geschwindigkeit und das führt zu wenigen Zeitkosten im O-Fall gegenüber diesen beim Bestand einer Baustelle.

**Tabelle 14: Die Fahrzeit T [Kfz \* h / a] nach der Fahrzeugtype und Fahrtzweckgruppe im O-Fall**

O- Fall	T <sub>P,w</sub>	T <sub>P,u</sub>	T <sub>P,s</sub>	T <sub>Z,v</sub>	T <sub>B,v</sub>	T <sub>L,v</sub>
2012	111	40	16	48	11	83
2015	218	79	31	98	23	167
2020	235	86	34	111	26	189

Tabelle 15: Die Zeitkosten der Jahre in welchen Maßnahmen auftreten [€ / a]-  
ohne der Bestand einer Baustelle (O-Fall)

O- Fall	TK <sub>a,Netz</sub>	TK <sub>a,Lkw</sub>
2012	4.880	3.987
2015	9.811	8.051
2020	11.007	9.109

Die Zeitkosten der beiden Strategien mit der O-Variante werden mit einem Zinsfuß von 3,5 % auf das Jahr 2008 abgezinst.

#### Berechnung des Nutzens

- Strategie A:

$$NT_{2008} = (TK_{2012,0-Fall} - TK_{2012,pl}) * bf_{2012} + (TK_{2020,0-Fall} - TK_{2020,pl}) * bf_{2020}$$

$$NT_{2008} = (4.880 - 6.803) * \frac{1}{(1 + 0,035)^4} + (11.007 - 15.308) * \frac{1}{(1 + 0,035)^{12}}$$

$$NT_{2008} = -1.676 - 2.846 = -4.522 [€]$$

- Strategie B:

$$NT_{2008} = (NT_{2015,0-Fall} - NT_{2015,pl}) * bf_{2015} = (9.811 - 13.668) * \frac{1}{(1 + 0,035)^7}$$

$$NT_{2008} = -3.032 [€]$$

Das negative Zeichen bedeutet, dass die Baustelle zu einer negativen Einwirkung auf die Straßennutzer bezogen auf die Fahrzeit führt und hier entstehen keine Nutzen, sondern Kosten für die Straßennutzer.

#### Investitionskosten

Die Investitionskosten der beiden Strategien werden mit dem Zinsfuß von 3,5 % auf das Jahr 2008 abgezinst.

- Strategie A

$$KA_{2008} = bf_{2012} * K_{a,2012} * 7,5 = \frac{1}{(1 + 0,035)^4} * 18.300 * 7,5 = 119.408 [€]$$

K<sub>a,2012</sub> ist für 100 m gegeben deshalb wird mit 7,5 für die ganze Strecke multipliziert.

Bei einmaliger Zahlung wird der Barwertfaktor bf so berechnet:

$$bf = \frac{1}{1 + q^n}, \text{ wobei } q \text{ die Diskontrate ist und } n \text{ die Anzahl der Jahre ist.}$$

$$KA_{2008} = bf_{2020} * K_{a,2020} * 7,5 = 0,66 * 62.900 * 7,5 = 311.335 [€]$$

- Strategie B

$$KA_{2008} = bf * K_{a,2015} * 7,5 = \frac{1}{(1 + 0,035)^7} * 61.000 * 7,5 = 359.591 [€]$$

Berechnung des Nutzen/Kosten - Verhältnisses für Strategie A:

$$NKV_{T,Strat.A} = \frac{NT_{Strat.A}}{KA_{Strat.A}} = \frac{-4.552}{119.408 + 311.335} = -0,0106$$

Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses für Strategie B

$$NKV_{T,Strat.B} = \frac{NT_{Strat.B}}{KA_{Strat.B}} = \frac{-3.032}{359.591} = -0,0084$$

$NKV_{T,Strat.B} > NKV_{T,Strat.A} \Rightarrow$  Strategie B ist die bessere Erhaltungsvariante aufgrund der Zeitkosten.

Berechnung der Zeitkosten für den Lkw-Verkehr

Die Zeitkosten für den Lkw-Verkehr werden von den gesamten Zeitkosten geteilt, damit man am Ende einen Vergleich zwischen den Zeitkosten nach den EWS und den Zeitkosten nach der RVS 03.08.71 für den Schwerverkehr machen kann.

- Strategie A:

$$NT_{2008,Lkw} = (3.987 - 5.316) * 0,87 + (9.109 - 12.146) * 0,66$$

$$NT_{2008,Lkw} = -1.158 - 2.010 = -3.168 [€]$$

- Strategie B:

$$NT_{2008,Lkw} = (8.051 - 10.735) * \frac{1}{(1 + 0,035)^7} = -2.110 [€]$$

## 5.2 Lösung der Aufgabe nach der RVS 03.08.71

Hier werden die baustellenbedingten täglichen Zeitkosten ohne Wartezeiten für den Schwerverkehr bestimmt. Sie werden mit den täglichen Zeitkosten des unbehinderten Straßenabschnitts verglichen.

$$\Delta Z = (Z_B - Z_0) * t_D [\text{€}]$$

- Strategie A

Jahr 2012

$$Z_0 = \frac{I_0 * \text{JDTLV} * \text{ZKS}}{V_{\text{Lzul.}}} = \frac{0,75 * 3.362 * 21,47}{80} = 677 [\text{€} / 24\text{h}]$$

$$Z_B = \frac{I_B * \text{JDTLV} * \text{ZKS}}{V_{\text{L.B}}} = \frac{0,75 * 3.362 * 21,47}{60} = 902 [\text{€} / 24\text{h}]$$

$$\Delta Z_{2012} = (902 - 677) * 6 = 1.350 [\text{€}]$$

$$\Delta Z_{2008} = \Delta Z_{2012} * \text{bf}_{2012} = 1.350 * 0,87 = 1.175 [\text{€}]$$

Jahr 2020

$$Z_0 = \frac{I_0 * \text{JDTLV} * \text{ZKS}}{V_{\text{Lzul.}}} = \frac{0,75 * 4.097 * 21,47}{80} = 825 [\text{€} / 24\text{h}]$$

$$Z_B = \frac{I_B * \text{JDTLV} * \text{ZKS}}{V_{\text{L.B}}} = \frac{0,75 * 4.097 * 21,47}{60} = 1.100 [\text{€} / 24\text{h}]$$

$$\Delta Z_{2020} = (1.100 - 825) * 11 = 3.025 [\text{€}]$$

$$\Delta Z_{2008} = \Delta Z_{2020} * \text{bf}_{2020} = 3.025 * 0,66 = 1.997 [\text{€}]$$

$$\Delta Z_{2008, \text{Strat. A}} = 1.997 + 1.175 = 3.172 [\text{€}]$$

- Strategie B

Jahr 2015

$$Z_0 = \frac{I_0 * \text{JDTLV} * \text{ZKS}}{V_{\text{Lzul.}}} = \frac{0,75 * 3.621 * 21,47}{80} = 729 [\text{€} / 24\text{h}]$$

$$Z_B = \frac{I_B * \text{JDTLV} * \text{ZKS}}{V_{\text{L.B}}} = \frac{0,75 * 3.621 * 21,47}{60} = 972 [\text{€} / 24\text{h}]$$

$$\Delta Z_{2015} = (972 - 729) * 11 = 2.673 [\text{€}]$$

$$\Delta Z_{2008, \text{Strat. B}} = \Delta Z_{2015} * bf_{2015} = 2.673 * 0,79 = 2.112 [\text{€}]$$

$$\Delta Z_{\text{Strat. A}} = 3.172 [\text{€}] > \Delta Z_{\text{Strat. B}} = 2.112 [\text{€}]$$

Die Strategie B ergibt die geringeren Belastungen für den Straßennutzer bei der Durchführung der Maßnahmen, deshalb wird als günstigere gewählt.

### 5.3 Lösung der Aufgabe nach dem HDM

- Zeitkosten infolge Unebenheiten

$$\Delta Z = Z_{g.L.} - Z_{g.Z.} [\text{€}]$$

Die Zeitkosten infolge der geschädigten Längsebenheit  $Z_{g.L.}$  werden für die Jahre 2012, 2015, 2020 als repräsentative Jahre berücksichtigt. Die Erhaltungsmaßnahmen, die in diesen Jahren durchgeführt werden, bewahren die gleiche Beziehung für die nächsten Jahre zwischen den entwickelnden Unebenheiten und der erhaltenen Straßenoberfläche. Die Zeitkosten infolge der geschädigten Längsebenheit  $Z_{g.L.}$  werden mit der Hilfe des IRI berechnet und mit den Zeitkosten nach den Maßnahmen  $Z_{g.Z.}$  verglichen.

In einem ersten Schritt werden die Zeitkosten infolge von Unebenheiten für drei ausgewählte Jahre der Strategie A berechnet. In weiterer Folge sind diese Kosten für jedes Jahr des Betrachtungszeitraums zu ermitteln.

Strategie A:

$$IRI_{2012} = 2,21 [\text{m / km}] - \text{vor der Maßnahme im Jahr 2012}$$

$$IRI_{2012} = 0,5 [\text{m / km}] - \text{nach der Maßnahme im Jahr 2012}$$

$$IRI_{2018} = 1,09 [\text{m / km}] - \text{vor der zweiten Maßnahme im Jahr 2020}$$

$$PWH = \frac{1.000 * PAX * PCTWK}{100 * VROUGH}$$

$$VROUGH = \frac{ARVMAX * 3,6}{a2 * IRI} [\text{km / h}]$$

Der Maximalwert der kumulierten Geschwindigkeit ARVMAX ist gleich 203 mm/s und wird von der Tabelle 5 für Pkw übernommen.

$a2 = 1,15$  (Tabelle 4 für Asphaltbeton)

$$VROUGH = \frac{203 * 3,6}{1,15 * 2,21} = 288 [\text{km / h}] \gg V_{Pkw} = 100 [\text{km / h}]$$

Das bedeutet, dass sich die Straßenoberfläche nicht in einem so schlechten Zustand befindet, sodass sie eine Geschwindigkeitsverminderung der Fahrzeuge verursachen könnte. Daraus folgt, dass die zusätzlichen Zeitkosten infolge der beschädigten Längsebenheit nicht entstehen.

Das HDM schlägt Berechnungsmöglichkeiten der verminderten Geschwindigkeit infolge der Unebenheiten bei IRI- Werten im Umfang, der in der Abbildung 15 dargestellt wird, vor.

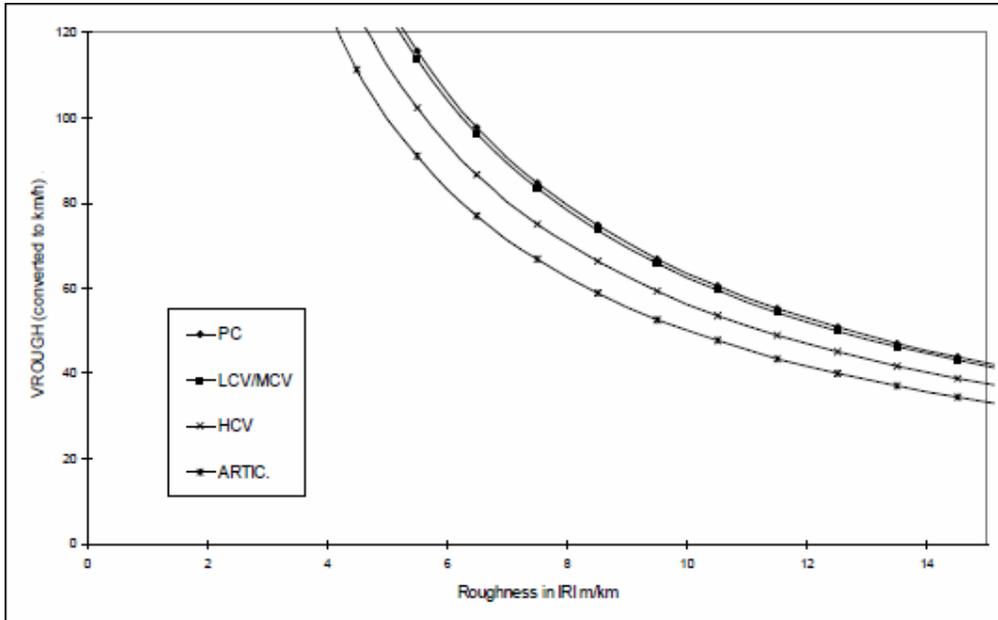


Abbildung 15: VROUGH in Abhängigkeit des IRI [14]

- Zeitkosten nach dem Work Zone Effect Modell

Die Berechnung der Zeitverluste wird in vier Etappen geteilt.

Erste Etappe: Verzögerung von der Anfangsgeschwindigkeit bis dem Erreichen des Staus

Der Zeitverlust  $t_d$ , der aus der Verringerung der Anfangsgeschwindigkeit ( $vel_{init}=100$  km/h) bis einer Geschwindigkeit von 60 km/h entsteht, wird so berechnet:

$$t_d = \sqrt{193,2 * \left(1 - \frac{vel_{fin}}{vel_{init}}\right)} = \sqrt{193,2 * \left(1 - \frac{16,67}{27,78}\right)} = 9 [s]$$

Zweite Etappe: Fahren im Stau

Bestimmung der Haltezeit und Fahrzeit im Stau.

Bestimmung des Zuwachses des Pkw-Verkehrs pro Fahrtrichtung:

$$\text{JDTV}_{2012} = 7.262 [\text{Fz} / 24\text{h}]$$

$$\text{JDTV}_{2015} = 7.821 [\text{Fz} / 24\text{h}]$$

$$\text{JDTV}_{2020} = 8.849 [\text{Fz} / 24\text{h}]$$

Die Haltezeit  $t_{\text{Hs}}$  und die Fahrzeit  $t_{\text{Fs}}$  im Stau werden aus der Abbildung 10 bzw. 11 interpoliert und gelesen. Sie sind:

$$t_{\text{Hs}} = 70 [\text{s}] - \text{Jahr 2012}$$

$$t_{\text{Hs}} = 82 [\text{s}] - \text{Jahr 2015}$$

$$t_{\text{Hs}} = 90 [\text{s}] - \text{Jahr 2020}$$

$$t_{\text{Fs}} = 10 [\text{s}] - \text{Jahr 2012}$$

$$t_{\text{Fs}} = 11 [\text{s}] - \text{Jahr 2015}$$

$$t_{\text{Fs}} = 15 [\text{s}] - \text{Jahr 2020}$$

### Dritte Etappe: Durchfahren der Baustelle

Berechnung der Fahrzeit  $t_{\text{B}}$  aus der Länge der Baustelle und der zulässigen Geschwindigkeit in diesem Bereich.

$$t_{\text{B}} = \frac{L_{\text{B}}}{V_{\text{B}}} = \frac{0,750}{60} = 0,0125 [\text{h}] = 45 [\text{s}]$$

### Vierte Etappe: Beschleunigung von der Geschwindigkeit im Baustellenbereich bis der Anfangsgeschwindigkeit

$$t_{\text{a}} = \frac{\text{vel}_{\text{fin}} - \text{vel}_{\text{init}}}{0,486 - 0,006 * \text{vel}_{\text{init}} + 0,123 * \sqrt{\text{vel}_{\text{fin}} - \text{vel}_{\text{init}}}}$$

$$t_{\text{a}} = \frac{27,78 - 16,67}{0,486 - 0,006 * 16,67 + 0,123 * \sqrt{27,78 - 16,67}} = 14 [\text{s}]$$

Berechnung der Zusatzzeitkosten ADDCST aufgrund der Geschwindigkeitsveränderung.

$$\text{ADDCST} = (\text{DECCST} + \text{ACCCST}) - \text{UNICST}$$

Die gesamte Zusatzzeit infolge der Veränderung der Geschwindigkeit für die verschiedenen Jahre ist:

Jahr 2012:

$$T_{2012} = t_{\text{d}} + t_{\text{Hs}} + t_{\text{Fs}} + t_{\text{B}} + t_{\text{a}} = 9 + 70 + 10 + 45 + 14 = 148 [\text{s}] = 0,041 [\text{h}]$$

Jahr 2015:

$$T_{2015} = t_{\text{d}} + t_{\text{Hs}} + t_{\text{Fs}} + t_{\text{B}} + t_{\text{a}} = 9 + 82 + 11 + 45 + 14 = 161 [\text{s}] = 0,045 [\text{h}]$$

**Jahr 2020:**

$$T_{2020} = t_d + t_{Hs} + t_{Fs} + t_B + t_a = 9 + 90 + 15 + 45 + 14 = 173[s] = 0,048[h]$$

Der Zeitkostensatz (ZKS) wird aus der Tabelle 2 für Pkw übernommen und er ist gleich 5,62 [€/ (Kfz \* h)].

So bekommt man die Zusatzzeitkosten infolge einer Baustelle (DECCST+ACCCST):

**Jahr 2012:**

$$\begin{aligned} \text{DECCST} + \text{ACCCST} &= T_{2012} * \text{JDTV} * \text{ZKS} \\ &= 0,041 * 7.262 * 5,62 = 1.673[\text{€/24h}] \end{aligned}$$

**Jahr 2015:**

$$\begin{aligned} \text{DECCST} + \text{ACCCST} &= T_{2015} * \text{JDTV} * \text{ZKS} \\ &= 0,045 * 7.821 * 5,62 = 1.978[\text{€/24h}] \end{aligned}$$

**Jahr 2020:**

$$\begin{aligned} \text{DECCST} + \text{ACCCST} &= T_{2020} * \text{JDTV} * \text{ZKS} \\ &= 0,048 * 8.849 * 5,62 = 2.387[\text{€/24h}] \end{aligned}$$

Die Zeitkosten ohne Baustelle (UNICST) werden aus der Fahrzeit beim Befahren der Strecke mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h bekommen.

$$\text{UNICST} = t_0 * \text{JDTV} * \text{ZKS} [\text{€/24h}]$$

$$t_0 = \frac{L_B}{V_0} = \frac{0,750}{100} = 0,0075[h]$$

**Jahr 2012:**

$$\text{UNICST} = 0,0075 * 7.262 * 5,62 = 306[\text{€/24h}]$$

**Jahr 2015:**

$$\text{UNICST} = 0,0075 * 7.821 * 5,62 = 330[\text{€/24h}]$$

**Jahr 2020:**

$$\text{UNICST} = 0,0075 * 8.849 * 5,62 = 373[\text{€/24h}]$$

- **Strategie A**

$$\text{ADDCST}_{2012} = 1.673 - 306 = 1.367[\text{€/24h}]$$

$$\text{ADDCST}_{2020} = 2.387 - 373 = 2.014[\text{€/24h}]$$

Für die entsprechende Dauer der Baustelle bekommt man:

$$\text{ADDCST}_{2012} = 1.367 * 6 = 8.202 [\text{€}]$$

$$\text{ADDCST}_{2020} = 2.014 * 11 = 22.154 [\text{€}]$$

Diese Werte werden für Jahr 2008 abgezinst.

$$\text{ADDCST}_{2008} = (\text{ADDCST}_{2012} * \text{bf}_{2012}) + (\text{ADDCST}_{2020} * \text{bf}_{2020})$$

$$\text{ADDCST}_{2008} = (8.202 * 0,871) + (22.154 * 0,66) = 21.766 [\text{€}]$$

- Strategie B

$$\text{ADDCST}_{2015} = 1.978 - 330 = 1.648 [\text{€}/24\text{h}]$$

Für die entsprechende Dauer der Baustelle bekommt man:

$$\text{ADDCST}_{2015} = 1.648 * 11 = 18.128 [\text{€}]$$

Dieser Wert wird für Jahr 2008 abgezinst.

$$\text{ADDCST}_{2008} = \text{ADDCST}_{2015} * \text{bf}_{2015} = 18.128 * 0,79 = 14.321 [\text{€}]$$

$$\text{ADDCST}_{\text{Strat.A}} = 21.766 [\text{€}] > \text{ADDCST}_{\text{Strat.B}} = 14.321 [\text{€}]$$

Die Strategie B ergibt die geringeren Zusatzzeitkosten (aufgrund des Pkw-Verkehrs) für den Straßennutzer bei der Durchführung der Maßnahmen, deshalb wird sie als günstigere gewählt.

## 5.4 Schlussfolgerung

Die Resultate der Berechnungen nach den verschiedenen Richtlinien zeigen eindeutig eine bessere Erhaltungsmaßnahme aufgrund der Zeitkosten der Straßennutzer: Dies ist die Strategie B, die Erneuerung des Oberbaues im 2015 für 61.000 € mit einer Dauer der Maßnahme von 11 Tagen.

Die Resultate von EWS und RVS für die Zeitkosten des Lkw-Verkehrs sind ähnlich.

Nach dem EWS werden die folgenden Werte für die Zeitkosten ermittelt:

$$\text{Strategie A: } \text{NT}_{2008,\text{Lkw}} = 3.168 [\text{€}]$$

$$\text{Strategie B: } \text{NT}_{2008,\text{Lkw}} = 2.110 [\text{€}]$$

Trotz der Unterschiede bei der Berechnungsweise ergeben sich fast die gleichen Werte nach der RVS für Lkw:

$$\text{Strategie A: } \Delta Z_{\text{Strat.A}} = 3.172 [\text{€}]$$

$$\text{Strategie B: } \Delta Z_{\text{Strat.B}} = 2.112 [\text{€}]$$

Das bedeutet, dass die deutschen und österreichischen Richtlinien verschiedene Berechnungsweisen darstellen, aber die schlussendlichen Resultate sind fast gleich.

Die Berechnungen nach dem HDM geben ebenfalls als Endresultat, dass die bessere Strategie B ist. Aber für genauere Berechnungen muss man viele Eingangsdaten haben und sie mit der entsprechenden Software bearbeiten.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Die systematische Straßenerhaltung oder das Pavement Management wird infolge des steigenden Verkehrs in den industrialisierten Ländern, der zu einer großen Straßenbeanspruchung führt, entwickelt. Die Notwendigkeit, dass dieses Bauwerk für lange Zeit bewahrt wird, so dass es seine Aufgaben erfüllen kann, stellt das Ziel für die Erarbeitung einer systematischen Vorgangsweise der Straßenerhaltung dar.

Mit der Entwicklung eines Systems, das das Problem mit dem steigenden Erhaltungsbedarf mit den möglichst wenigen Finanzmitteln lösen kann, lässt sich die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) ein. Ein Ziel dieses Vereines ist die Straßenforschung und der Austausch der Informationen auf diesem Gebiet. Im Rahmen eines Projekts konnte eine gemeinsame Datenbank für die Notwendigkeiten der Straßenerhaltung formiert werden. Bei den wirtschaftlichen Untersuchungen, die im Bereich des Straßenwesens durchgeführt werden, wird festgestellt, dass die Straßenerhaltung einen bemerkbaren Teil vom Gesamtbudget eines Staates annimmt. Das legt den Grundstein für ein Systematisieren der Straßenerhaltung und weitere Untersuchungen. Die Information über die Schaffung und die Entwicklung dieser Organisation befindet sich im Kapitel 2.2.

Österreich als ein Mitglied der OECD entwickelt mit den Jahren sehr erfolgreich seine Industrie, sein Straßennetz, seinen Straßenbau und als Folge davon seine Straßenerhaltung. Die Forschung auf dem Gebiet der systematischen Straßenerhaltung wird vom Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität in Wien unterstützt. Die Grundlagen für diese Forschung sind im Kapitel 2.3 erwähnt. Die Bausteine des Modernen Pavement Management Systems werden dargestellt. Dies sind eine Reihe von Abläufen und Algorithmen, die die Datenbank, die Modelle, die Randbedingungen, die Analyse für die Durchführung der Optimierungsaufgabe und die Darstellung der Analyseergebnisse beinhalten müssen.

Für die erfolgreiche Durchführung der systematischen Straßenerhaltung wird in Österreich eine eigene Datenbank ausgearbeitet, die Informationen über das Straßennetz, den Straßenzustand, den Straßenaufbau, die Verkehrsbelastung und das Klima einschließt. Sie sind die Grundlage des Systems VIAPMS\_AUSTRIA, das die Straßenzustandsentwicklung prognostiziert. Mit seiner Hilfe werden die Erhaltungsmaßnahmen beurteilt und die optimale Erhaltungsstrategie wird gewählt.

Bei der Auswahl der Erhaltungsmaßnahmen ist die Bestimmung der Kosten, die bei ihrer Ausführung entstehen können, sehr wichtig. In den verschiedenen Ländern werden Grundsätze für die Kostenermittlung übernommen. Sie schaffen eigene Wirtschaftlichkeitskriterien für die Beurteilung der Kosten zufolge der Erhaltungsmaßnahmen. Die Kosten, die im Kapitel 3 besonders erläutert werden, sind die Straßennutzerkosten. Sie werden in Deutschland mit den „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen“ (EWS), in Österreich mit der „Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Oberbaukonstruktionen im Straßenbau“ (RVS 03.01.71) und von der Weltbank mit dem „Highway Development and

Management Model“ (HDM-4) beschrieben. Wegen der steigenden Bedeutung der Straßennutzerkosten werden auch diese mit ihren Bestandteile: Betriebskosten, Zeitkosten und Unfallkosten besonders berücksichtigt. Die drei Komponenten werden im Kapitel 3 dargestellt, ebenfalls werden die Zeitverluste ausführlich in den nachfolgenden Kapiteln erklärt.

Die Betriebskosten bestehen aus den fahrleistungsabhängigen und fahrleistungsunabhängigen Ausgaben. Die erste Art wird in den österreichischen und deutschen Richtlinien beschrieben, weil die Einflussgrößen der Kraftstoffverbrauchskosten als bestimmbar gekennzeichnet werden. Die fahrleistungsunabhängigen Betriebskosten, die von dem Reifenverschleiß, der Instandhaltung, der Wartung und der Schmierstoffe abhängen, werden nur im HDM-4 mit unterschiedlichen Gesetzen bestimmt.

Die zusätzlichen Zeitkosten entstehen beim Durchfahren einer Baustelle oder aufgrund eines schlechten Straßenzustands. Diese sind die Ursachen für die Zusatzfahrtzeiten und sie werden bei den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen einer Maßnahme auch berücksichtigt. Die Berechnung der Zeitkosten nach den Richtlinien wird in Kapitel 4 beschrieben.

Die Bedeutung der Unfallkosten bei der Straßenerhaltung wächst mit der Zeit stark an. Sie werden nicht nur von Sachschäden sondern auch von Personenschäden bestimmt. Das Unfallgeschehen ist von dem Straßenzustand und der Verkehrsbelastung abhängig und die Einflussgrößen sind zahlreich und mit variablem Charakter. Das macht die Bestimmung der Unfallkosten schwieriger, deshalb ist es nötig, die Benutzung der Tabellen mit statistischen Parametern zu untermauern.

Der Hauptpunkt der Diplomarbeit ist die Bestimmung der Zeitverluste nach den unterschiedlichen Richtlinien. Zuerst werden die deutschen EWS beschrieben. Sie beruhen auf der Nutzen-Kosten-Analyse und daraus folgt, dass nicht nur die Baulastträgerkosten (die Investitions- und die laufenden Kosten), sondern auch die Zeitkosten (die Nutzen von der Veränderung der Fahrzeit) berücksichtigt werden müssen. Sie werden für die beiden Fälle: ohne und mit Erhaltungsmaßnahme untersucht. Der Unterschied zwischen diesen zwei Werten ergibt die zusätzlichen Zeitkosten. Die EWS überlassen die Möglichkeit, dass die Fahrzeit für die entsprechende Fahrzeuggruppe mit der Verkehrsstärke und der zulässigen Geschwindigkeit berechnet wird. Diese Fahrtzeit wird mit dem monetären Ausdruck der Zeit multipliziert und so werden die Zeitkosten bestimmt.

Die RVS 03.08.71 stellt Entscheidungshilfen bei der Auswahl der Oberbaukonstruktion und/oder der Baustoffe vor. Die Zeitkosten werden infolge der Erhaltungsmaßnahme in den baustellenbedingten Zeitkosten ohne Wartezeit und solchen mit Wartezeit geteilt. Sie werden nur für Lkws bestimmt. Bei der zweiten Variante wird die Fahrtzeit unter Berücksichtigung einer Signalanlage berechnet. Die bestimmten Fahrzeiten werden mit dem entsprechenden Zeitkostensatz multipliziert, damit die notwendige Vergleichsgröße erhalten wird.

Das dritte berücksichtigte System für die Berechnung der Zeitkosten ist das HDM-4. Es gibt die Möglichkeit, dass die Zeitverluste infolge einer schlechten Straßenoberfläche berechnet werden. Das wird mit der Formel für die Geschwindigkeit bei geschädigter Längsebenheit- VROUGH erfüllt.

Im HDM-4 wird sehr ausführlich die Berechnung der Zeitverluste beim Bestand einer Baustelle durch das so genannte „Work Zone Effects Model“ dargestellt. Die Geschwindigkeit in dieser Zone ist veränderlich und das fordert die Teilung der Baustelle in einige Etappen. In diesem Modell wird auch den Effekt des Staus betrachtet. Verschiedene Formeln für die Berechnung der Geschwindigkeit während dieser Etappen werden vorgeschlagen, aber sie können nach der Bestimmung der Einflussgrößen mit Hilfe einer computerunterstützten Berechnung ermittelt werden.

Im Kapitel 4.4 werden die Vorteile und Nachteile der untersuchten Richtlinien bei der Berechnung der Zeitkosten zusammengefasst. Die Bedingungen und die notwendigen Einflussparameter werden erklärt und die Unterschiede zwischen den berücksichtigten Richtlinien bei der Berechnung der Zeitverluste werden beleuchtet.

Den Abschluss der Arbeit stellt ein Anwendungsbeispiel im Kapitel 5 dar. Für die Berechnung der Zeitkosten werden die notwendigen Eingangsdaten nach den Anforderungen der drei Arten Richtlinien zusammengestellt und eine Beispielrechnung durchgeführt.

## LITERATURVERZEICHNIS

---

(1) Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten: Systematische Methoden der Straßenerhaltung, Pavement Management Systems. Straßenforschung, Heft 357, Bericht einer Arbeitsgruppe des Straßenforschungsprogrammes der OECD, Paris, 1987, Wien, 1988

(2) Vycudil, A. und Litzka, J.: Schritte zur Implementierung eines PMS für das österreichische Bundesstraßennetz, Berichte zur Straßenbautagung, Spittal a. d. Drau, Juni 1999

(3) Weninger-Vycudil, A.: Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches Pavement Management System. Heft 14, Technische Universität Wien, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung (ISTU), Wien, 2003

(4) Pichler, A.: Die Berechnung der Straßennutzerkosten im Pavement Management Programm HDM-4. Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung (ISTU), 2006

(5) Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen (EWS). Aktualisierung der RAS-W 86, Köln, 1997

(6) Steierwald, G., Künne, H.D. und Vogt, W.: Stadtverkehrsplanung. Grundlage, Methoden, Ziele.2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, 2005

(7) o.A.: Bildbeschreibung „Barwert“. [IT-INFOTHEK: Betriebswirtschaftslehre \(Investition und Finanzierung\): Dynamische Methoden der Investitionsrechnung, 03.12.08](#)

(8) RVS 03.08.71: Entscheidungshilfen, Wirtschaftlichkeitsuntersuchung von Oberbaukonstruktionen im Straßenbau. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr, Verkehrsplanung, Wien, 2001

(9) RVS 02.01.22: Entscheidungshilfen, Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr, Wien, 2002

---

**(10) RVS 03.01.11: Überprüfung der Anlageverhältnisse von Straßen (ÜAS).  
Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr, Wien, 1995**

**(11) Paterson, W.D.O and Watanatada, T.: Relationships between vehicle speeds,  
ride quality and road roughness. Measuring road roughness and its effects on user  
cost and comfort. ASTM STP 884. American society of testing and materials,  
Philadelphia, 1985**

**(12) Watanatada, T., Dhareshwar, A. and Rezende-Lima, P.R.S.: Vehicle speeds  
and operating costs: Model for road planning and management. John Hopkins  
University press, 1987**

**(13) Strimmer, J.: Das Pavement-Management-System HDM-4. Überblick über das  
System und erste Beurteilung der Prognosemodelle für die Riss- und  
Spurrinnenbildung, Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Institut für  
Straßenbau und Straßenerhaltung (ISTU), Wien, 2000**

**(14) Kerali, H.G.R.: HDM-4 Highway Development & Management. Volume One:  
Overview of HDM-4, The World Road Association (PIARC), Version 1.0, The  
Highway Development and Management Series, 2000**

**(15) Bennett, C.R. and Greenwood, I.D.: Modelling road user and environmental  
effects in HDM-4. Highway development and management, Volume 7, 2001**