

# **OptiV – Erschließung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden für die Anwendung im Verkehr<sup>1</sup>**

**Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze**

**Dipl.-Ing. Heiko Jentsch**

Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Petersenstraße 30, D-64287 Darmstadt, Tel. +49-6151-16-2025, Fax +49-6151-16-4625, E-Mail: boltze@verkehr.tu-darmstadt.de, jentsch@verkehr.tu-darmstadt.de

**Prof. Dr.-Ing. Bernhard Friedrich**

Technische Universität Braunschweig, Institut für Verkehr und Stadtbauwesen, Pockelsstraße 3, D-38106 Braunschweig, Tel. +49-531-391-7920, Fax +49-531-391-8100, E-Mail: friedrich@tu-braunschweig.de

**Prof. Dr. rer. pol. habil. Michael Bastian**

Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Operations Research, Templergraben 64, D-52056 Aachen, Tel. +49-241-8098287, Fax +49-241-8092702, E-Mail: bastian@winfor.rwth-aachen.de

## **Kurzfassung**

In der Forschung und Entwicklung ist das Thema „Entscheidungs- und Optimierungsmethoden“ in den letzten Jahren deutlich vorangetrieben worden. Diesem Trend wird in der Anwendung und Weiterentwicklung im Verkehrswesen bisher jedoch nur vereinzelt gefolgt. Im Projekt „OptiV – Erschließung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden für die Anwendung im Verkehr“ wurden deshalb der allgemeine Entwicklungsstand sowie die Anwendung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden im Verkehrswesen dokumentiert sowie Anwendungsmöglichkeiten neuer Entscheidungs- und Optimierungsmethoden im Verkehrswesen aufgezeigt. Mit dem Internetportal [www.optiv.de](http://www.optiv.de) und mit einer Veröffentlichung durch die FGSV wurden die Ergebnisse der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt und eine Möglichkeit geschaffen, den Nutzer systematisch an die Thematik heranzuführen.

## **1 Einleitung – Das Projekt OptiV**

### **1.1 Problemstellung und Zielsetzung**

In der Forschung und Entwicklung ist das Thema „Entscheidungs- und Optimierungsmethoden“ in den letzten Jahren deutlich vorangetrieben worden. Einige Verfahren und Methoden wie die Fuzzy Logic oder genetische Algorithmen wurden für verkehrliche

---

<sup>1</sup> Dieses Paper basiert weitgehend auf dem Schlussbericht zum Projekt „OptiV – Erschließung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden für die Anwendung im Verkehr“ [1]. Die Projektergebnisse werden während der HEUREKA 2008 am OptiV-Projektstand vorgestellt und wurden in vollständiger Fassung von der FGSV veröffentlicht [2].

Anwendungen adaptiert. Folgt man aktuellen Tendenzen, so werden sich diese Innovationen auch in Zukunft fortsetzen. Dennoch sind zwei Punkte festzuhalten:

- Die Entwicklung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden im Verkehr steht weit hinter dem allgemeinen Entwicklungsstand von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden zurück.
- Eine weitere Verbreitung und Umsetzung der für den Verkehr entwickelten Methoden und Verfahren bleibt bisher aus.

Wesentliche Ursachen hierfür sind Defizite in der universitären Ausbildung des Ingenieur Nachwuchses sowie die für den in der Praxis tätigen Verkehrsingenieur schwer zugängliche Materie. Für Verkehrsingenieure hat es sich als schwierig erwiesen, mit der Entwicklung in den Entscheidungs- und Optimierungsmethoden Schritt zu halten. Sie sind bisher nicht hinreichend fachspezifisch aufbereitet worden und ohne eine einschlägige Ausbildung nur schwer aufnehmbar. Hieraus ergibt sich in der Praxis verbreitet ein Defizit im Transfer der neuen Entwicklungen von Entscheidungs- und Optimierungsverfahren in die Anwendung im Verkehr. Dieses Defizit führt vielfach zu suboptimalen Lösungen und würde sich langfristig substanziell in volkswirtschaftlichen Nachteilen niederschlagen.

Die Minderung dieser Defizite war das Ziel des durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie und dann Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Projekts "OptiV – Erschließung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden für die Anwendung im Verkehr". Zur Erreichung dieses Zieles wurden der allgemeine Entwicklungsstand von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden sowie die Anwendung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden im Verkehrswesen für Lehre und Praxis dokumentiert. Weiterhin wurden die Anwendungsmöglichkeiten neuer Entscheidungs- und Optimierungsmethoden im Verkehrswesen und weiterer Entwicklungsbedarf aufgezeigt.

## **1.2 Projekt-Team**

Das Projekt wurde im Zeitraum vom Mai 2004 bis Juli 2006 durchgeführt. Das Projekt-Team umfasste sowohl Experten des Verkehrsingenieurwesens aus Lehre und Praxis als auch des Operations Research. Durch die Vertretung von Forschung, Lehre und Praxis in der Bearbeitergruppe wurde eine anwendungsbezogene und didaktisch hochwertige Aufbereitung der Ergebnisse sichergestellt:

- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze (Projektkoordination)  
Dr.-Ing. Matthias Bohlinger, Dr.-Ing. Josef Becker, Dr.-Ing. Jörg Pfister  
Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Technische Universität Darmstadt
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernhard Friedrich  
Dipl.-Ing. Jannis Rohde, Dipl.-Math. oec. Daniel Schmidt  
Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Leibniz Universität Hannover
- Univ.-Prof. Dr. rer. pol. habil. Michael Bastian  
Dipl. Wirt.-Geol. Mike Hüftle  
Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Operations Research, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

in Zusammenarbeit mit

- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich  
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik, Universität Stuttgart
- Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Andreas Frommer  
Dipl.-Math. Karsten Blankenagel  
Fachbereich Mathematik, Fachgebiet Angewandte Informatik/Numerik, Bergische  
Universität - Gesamthochschule Wuppertal
- Prof. Dr. Jörg-D. Meißner, Dr.-Ing Hans-Martin Heck, Dipl.-Ing. Jochen Boesefeldt  
Stiftung heureka
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markos Papageorgiou  
Department of Production Engineering & Management, Dynamic Systems and Simulation  
Laboratory, Technical University of Crete
- Dr.-Ing. Dipl.-oec. Rupert Bobinger  
TRANSVER GmbH
- Dr. rer. nat. Heribert Kirschfink M.O.R.  
Dipl.-Ing. Stefan von der Ruhren  
momatec GmbH

## **2 Allgemeine Lösungsansätze für Entscheidungs- und Optimierungsprobleme**

### **2.1 Allgemeines**

Für die Lösung von Entscheidungs- und Optimierungsproblemen sind mathematische Modelle von besonderer Bedeutung. Bei der Interpretation der Ergebnisse, die durch Anwendung mathematischer Methoden auf die Modelle gewonnen werden, ist immer größte Vorsicht geboten, da die Ergebnisse nur innerhalb der Gültigkeitsgrenzen des Modells sinnvoll sind. Sie dienen daher in der Regel nur als Orientierungshilfe bei der Entscheidungsfindung.

Die Lösung von komplexen Entscheidungs- und Optimierungsproblemen erfordert einen mehrstufigen Lösungsprozess, in dessen Verlauf das Problem als solches formuliert, analysiert und modelliert wird. Das Ergebnis der Modellberechnungen sind Erkenntnisse, die zur Problemlösung hinzugezogen werden können, oder konkrete Problemlösungsvorschläge, auf deren Grundlage eine Entscheidung getroffen werden kann. Die folgenden Stufen treten im Lösungsprozess auf:

- Problemidentifikation und Problemformulierung
- Systemanalyse
- Formulierung von Zielvorstellungen und Entscheidungskriterien
- Analyse der Systemumwelt
- Untersuchung der Verfügbarkeit der Daten und der Datenqualität
- Formulierung als mathematisches Modell (oder mehrerer Modelle)

- Auswahl einer Methode
- Bewertung
- Überprüfung durch den Benutzer

Hierbei ist zu beachten, dass in der Realität in den seltensten Fällen die angegebene Abfolge eingehalten werden kann. Vielmehr ist es häufig der Fall, dass einzelne Stufen übersprungen werden, zusätzliche Betrachtungen nötig sind oder die Stufen in einem iterativen Prozess mehrfach durchlaufen werden müssen.

Die wichtigsten Methoden werden in Methodenklassen eingeteilt und beschrieben. Die Methoden werden im Rahmen eines anwendungsorientierten Ansatzes hinsichtlich der Modelle klassifiziert, zu deren Lösung sie eingesetzt werden. Hierfür werden zunächst sechs verschiedene Modelltypen definiert und kurz erläutert:

**Beschreibungsmodelle** dienen der Darstellung von Strukturen, Zusammenhängen und Prozessen, ohne dass man daraus quantitative Werte für die Variablen ableitet. Sie beschreiben Elemente, Beziehungen und Abläufe in Systemen. Beschreibungsmodelle dienen immer nur einer ersten Analyse des Systems und seiner Systemumwelt. Es sind daher weitere, detailliertere Modellierungen nötig, um sie in ein Rechenmodell umsetzen zu können.

**Modelle der Datenanalyse** beschreiben Zusammenhänge innerhalb von Datensammlungen und verzichten hierbei auf eine Analyse des gesamten Wirkungsgefüges. Modelle dieser Art betrachten das System quasi als eine „black box“ und untersuchen nur einzelne Verhaltensmuster.

**Erklärungsmodelle** geben eine formale Darstellung eines Systems und seiner Komponenten sowie der kausalen, zeitlichen oder räumlichen Zusammenhänge. Sie versuchen, auch komplexe Systeme mit ihren Abhängigkeiten und Auswirkungen darzustellen. Insbesondere im Zusammenhang mit der Methode der Simulation werden dabei auch die Auswirkungen verschiedener Umweltzustände oder expliziter Handlungsalternativen abgeschätzt. **Wirkungsmodelle** sind spezielle Erklärungsmodelle, bei denen mindestens eine unabhängige Variable vorhanden ist, und die Untersuchung der Auswirkungen von Änderungen der unabhängigen Variablen auf die abhängigen Variablen im Vordergrund steht. Wirkungsmodelle bilden auch die Grundlage von **Regelungsmodellen**. Hierbei geht es darum, die abhängigen Variablen im Zeitablauf innerhalb einer definierten Bandbreite zu halten, indem man die unabhängigen Variablen des Wirkungsmodells unter Nutzung vergangener Werte der abhängigen Variablen automatisch anpasst.

**Prognosemodelle** dienen der Abschätzung von voraussichtlichen Entwicklungen. Sie können nicht klar gegen Erklärungsmodelle- bzw. Modelle der Datenanalyse abgegrenzt werden, sondern sind vielmehr eine Erweiterung dieser Modelltypen zum Zweck der Prognose. Aus diesem Grunde werden Prognosemodelle im Weiteren nicht explizit, sondern unter den Erklärungsmodellen und den Modellen der Datenanalyse betrachtet.

**Optimierungsmodelle** entstehen aus Erklärungsmodellen durch zwei Maßnahmen: Zum einen werden die Parameter, welche die Umweltsituation beschreiben, festgelegt, und zum andern wird das Erklärungsmodell um eine mathematische Funktion als Zielsetzung ergänzt. Als Ergebnis von Modellberechnungen werden optimale oder näherungsweise optimale Lösungen als Entscheidungsvorschläge erwartet. Die Entscheidungsalternativen sind also

nicht explizit von vornherein bekannt. Für den Einsatz von Optimierungsmodellen müssen klar definierte und bewertete Ziele festgelegt sein. Für die Berücksichtigung verschiedener Umweltzustände müssen gegebenenfalls nachgelagerte Analysen durchgeführt werden.

Die Komplexität der bislang erläuterten Modelltypen wird ganz wesentlich durch die Restriktionen bestimmt. Bei den **Bewertungsmodellen** hingegen sind die Handlungsalternativen nicht durch ein Erklärungsmodell, sondern explizit gegeben. Die Problematik besteht hier darin, dass die Zielfunktion nicht explizit formulierbar ist, sondern oft unterschiedliche (sich teils widersprechende) Zielkriterien zu beachten sind, wobei häufig nur eingeschränkte Informationen über die Zielpräferenzen des Entscheiders bzw. der Entscheider vorliegen. Einige der Modelle berücksichtigen auch mehrere Umweltzustände, deren Eintrittswahrscheinlichkeiten unsicher oder stochastisch sind.

Zur Lösung einer konkreten Problemstellung ist häufig die Verwendung mehrerer dieser Modelltypen erforderlich. So wird man sich die Zusammenhänge zwischen den Systemkomponenten und -abläufen zunächst anhand eines Beschreibungsmodells klar machen, ein Erklärungsmodell aufgrund von physikalischen oder aus der Datenanalyse hergeleiteten quantitativen Beziehungen erstellen und anschließend zu einer Prognose oder Optimierung übergehen.

Somit ergibt sich eine Vielzahl von Situationen, in denen Methoden im Verkehrswesen zum Einsatz kommen:

- Modellierungstechniken für Beschreibungsmodelle
- Methoden zur Datenanalyse
- Methoden zur Analyse von Erklärungsmodellen
- Methoden zur Lösung von Optimierungsmodellen
- Methoden zur Lösung von Bewertungsmodellen

## 2.2 Modellierungstechniken für Beschreibungsmodelle

Beschreibungsmodelle dienen der Darstellung von Strukturen und Abläufen. Zu den Beschreibungsmodellen gehören Architekturmodelle, Datenmodelle, Prozessmodelle und Vorgehensmodelle.

**Architekturmodelle** bezeichnen die Komponenten eines Informationssystems und ihre Beziehungen zueinander. Die Informatik versteht unter einem Architekturmodell eine Softwarearchitektur im Rahmen der Softwareentwicklung. Grundgedanke von Architekturmodellen ist die Realisierung umfangreicher Modelle durch einzelne Komponenten, die miteinander verbunden werden.

**Datenmodelle** beschreiben die Struktur von Informationen als fachbezogenen Ausschnitt der Realität (Metadaten). Sie bilden Systeme auf die zugehörigen Daten- oder Klassenstrukturen ab. Für die Datenmodellierung werden Techniken wie das ER-Modell oder das Klassendiagramm der UML benutzt.

Ein **Prozessmodell** ist eine abstrakte Beschreibung eines bestimmten Prozesses. Ein Prozess besteht aus einer Abfolge von einzelnen Prozessschritten. Jedes Prozessmodell stellt aufgrund seiner Abstraktionsstufe immer eine bestimmte Sicht auf den beschriebenen Prozess dar.

Ein **Vorgehensmodell** definiert die einzelnen Schritte in einem Vorgehen (z.B. in der Softwareentwicklung), das als Modell für unterschiedliche Projekte ausformuliert werden kann. Ein Vorgehensmodell gibt Methoden und Werkzeuge vor und definiert Abläufe und Ergebnisse in einem Projekt. Beispiele sind RUP, das V-Modell oder Rapid Prototyping.

### 2.3 Methoden zur Datenanalyse

**Statistische Schätz- und Testmethoden** werden angewendet, um Aussagen über die unbekannte Verteilungsfunktion der Grundgesamtheit oder deren Parameter anhand von Stichproben aus dieser Grundgesamtheit machen zu können. Dies kann zum einen durch die Angabe eines einzelnen Näherungswertes (Punktschätzung) erfolgen oder durch die Berechnung eines Schätzintervalles (Konfidenzschätzung). Mit Toleranzschätzungen werden Intervalle angegeben, die einen vorgegebenen Mindestanteil der Grundgesamtheit mit bestimmter Sicherheit enthalten. Statistische Tests dienen dazu, anhand von Stichproben Annahmen (Hypothesen) über das Verteilungsgesetz in der Grundgesamtheit zu überprüfen.

**Methoden der Segmentierung** identifizieren ähnliche Gruppen von Daten in einer Datenmenge ohne die Gruppeneigenschaften im Voraus zu kennen. Die wichtigsten Methoden der Segmentierung sind Clusterverfahren und Neuronale Netze.

**Methoden der Klassifizierung** ordnen einzelne Datensätze bereits bekannten Datenklassen zu. Zur Gewinnung der hierzu erforderlichen Klassenbeschreibungen (Klassifikatoren) sind Trainingsdaten erforderlich, mit denen der Klassifikationsalgorithmus initiiert wird.

Die **Methoden der Zeitreihenanalyse** untersuchen Folgen von Daten im Zeitbereich und alternativ hierzu im Frequenzbereich, das heißt als Darstellung einer Überlagerung deterministischer oder stochastischer Schwingungen. Die Zeitreihenanalyse behandelt sowohl Zeitreihen als geordnete, deterministische Folge von Beobachtungen als auch als stochastischen Prozess, also als eine abhängige Folge von Zufallsvariablen. Die Zeitreihenanalyse wird hier in die Teilbereiche Analyse, Modellierung und Prognose bzw. Zustandsschätzung von Zeitreihen untergliedert. Die Analyse von Zeitreihen versucht diese anhand von Methoden wie der Regression oder dem Periodogramm zu beschreiben, um einen ersten Eindruck von den zu untersuchenden Daten zu gewinnen. Die Modellierung formuliert stochastische Modelle und passt diese an die vorhandenen Daten an. Die Prognose bzw. Zustandsschätzung trifft Vorhersagen, filtert und glättet die Daten.

Die **Methoden der Abhängigkeitsanalyse** entdecken und quantifizieren Abhängigkeiten in einer Datenmenge. Hierzu stehen statistische Methoden wie die Regressions- und Korrelationsanalyse und Methoden der künstlichen Intelligenz zur Verfügung.

### 2.4 Methoden zur Analyse von Erklärungsmodellen

Zur Analyse ganzer Systeme bedarf es jedoch anderer, umfassenderer Ansätze als zur Datenanalyse. Hier ist in erster Linie die **Simulation** zu nennen, welche in der Praxis durch die steigende Leistungsfähigkeit der Personalcomputer eine große Verbreitung gefunden hat. Von den zahlreichen Simulationskonzepten und -modellen werden hier unter anderen die Automatentheorie, Agentenkonzepte, der System Dynamics-Ansatz und die Fuzzy-Simulation als wichtige Entwicklungen auf diesem Gebiet betrachtet. Weiterhin werden verschiedene, von dem jeweiligen Simulationsmodell unabhängige Methoden zur Analyse

der Input/Output-Daten, zur Varianzreduktion, zur Ablaufsteuerung und zur Optimierung von Simulationsmodellen betrachtet.

Die **Warteschlangentheorie** wurde schon Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts zur Beschreibung der Stauungen in Telefonnetzen benutzt. Durch die vielfältigen Möglichkeiten, ein Warteschlangensystem zu beschreiben, wird eine Vielzahl von Warteschlangenmodellen eingesetzt. Die Methoden zur Lösung dieser Modelle kommen zu einem großen Teil aus der Statistik und dienen der Beschreibung von Ankunfts- und Abfertigungsprozessen. Ebenfalls spielen die bereits oben aufgeführten stochastischen Prozesse eine wichtige Rolle bei der Formulierung von Warteschlangen. Die Phasenmethode sowie die Methode von Lindley lösen Warteschlangenmodelle über Systeme von Differential- bzw. Integralgleichungen.

Da die **Systemtheorie** Eingang in viele wissenschaftliche Disziplinen gefunden hat, ist auch das Verständnis des Begriffes Systemtheorie vielfältig. Hier wird der systemtheoretische Ansatz aus Sicht der Regelungstechnik erläutert, der untersucht, wie man Systeme so beeinflussen kann, dass sie gewünschte Eigenschaften zeigen. Im Zentrum der Regelungstechnik stehen Regelkreise, die besonders leistungsfähige Strukturen zur Systembeeinflussung sind. Mit Hilfe der Systemtheorie kann man die geschlossenen Wirkkreise, die dabei auftreten, besonders einfach mathematisch behandeln.

## 2.5 Methoden zur Lösung von Optimierungsmodellen

Zur Lösung von Optimierungsmodellen existiert ein breites Spektrum an Methoden. Eine erste grobe Untergliederung ist die in **Optimierungsmethoden**, die nach der Suche einer Optimallösung streben, und **Heuristischen Methoden**, die sich mit dem Auffinden einer „guten“ Lösung zufrieden geben.

Die Methoden zur Lösung der unterschiedlichen Modelle nutzen zum Teil eine Kombination von Lösungsprinzipien, deren Kenntnis insbesondere dann von Bedeutung ist, wenn ein zu lösendes Problem sich nicht auf eines dieser Standardmodelle abbilden lässt und somit auch nicht Standardmethoden zur Verfügung stehen.

Die wichtigsten Optimierungsprinzipien werden den verschiedenen Methoden in Tabelle 1 zugeordnet.

		Enumeration	Erzeugen von Lösungspopulationen	Heuristisches Verbessern	Verbessernde Richtungen	Baum- bzw. Graphenstrukturen	Vereinfachen und Zerlegen	Dynamisches Zerlegen	Verkleinern des Lösungsraumes	Aufnahme der Nebenbedingungen in die	Lösen des dualen Modells
Lineare Optimierung	Simplexverfahren				X						X
	Parametrische Optimierung				X						X
	Dekomposition nach Dantzig-Wolfe				X		X				
	Verfahren von Karmakar				X						
Nichtlineare Optimierung	Algorithmus von Wolfe 1959				X						
	Steepest Descent				X						
	Newton-Verfahren				X						
	Quasi-Newton-Verf.				X						
	SQP-Verfahren				X						
	Methode von Rosen				X						
	Methode von Wolfe 1963 (reduzierte Gradienten)				X						
	Strafkostenverfahren									X	
Barriereverfahren									X		
Ganzzahlige und gemischt-ganzzahlige Optimierung	Schnittebenenverfahren				X				X		X
	Entscheidungsbaumverfahren					X	X				
	Benders-Dekomposition						X		X		X
Optimierung bei mehrfacher Zielsetzung	Ordnung von Zielen, Zielgewichtung						X				
	Goal Programming				X						
	Interaktive Verfahren			X			X				
Fuzzy-Optimierung	Fuzzy-Dekomposition						X				
	Fuzzy-Variablensubstitution						X				
Stochastische Optimierung	Stochastische Dekomposition						X				
	Gradientenverfahren				X						
	Wertiteration							X			
	Entscheidungsiteration			X				X			

**Tabelle 1 (Teil 1): Einsatz der Optimierungsprinzipien in den verschiedenen Methoden**



		Enumeration	Erzeugen von Lösungspopulationen	Heuristisches Verbessern	Verbessernde Richtungen	Baum- bzw. Graphenstrukturen	Vereinfachen und Zerlegen	Dynamisches Zerlegen	Verkleinern des Lösungsraumes	Aufnahme der Nebenbedingung in die	Lösen des dualen Modells
Quotienten-optimierung	Verfahren von Martos				X						
	Methode von Isbell und Marlow				X						
	Methode von Dinkelbach				X						
	Schaible-Transformation						X				
Minimalkosten-Fluss-Algorithmen	Out-of-Kilter-Algorithmus					X					X
	Algorithmus von Busacker and Gowen					X					X
Maximalfluss-Algorithmen	Algorithmus von Ford und Fulkerson					X					
Kürzeste-Wege-Algorithmen	Algorithmus von Ford					X		X			
	Tripel-Algorithmus					X		X			
	Algorithmus von Dijkstra					X		X			
	Bellmann's Verfahren					X		X			
Minimalgerüst-Algorithmen	Algorithmus von Kruskal					X					
	Algorithmus von Prim					X					
Heuristische Methoden	Greedy-Heuristik						X				
	k-opt			X							
	Nachbarschaftssuche			X							
	Tabu Search			X							
	Iterierte lokale Suche			X							
	Simulated Annealing			X							
	Evolutionäre Algorithmen	X	X	X							
	Memetische Algorithmen	X	X	X							
	Ameisensysteme		X	X							
	Partikelschwärme		X	X							
	Fitnesslandschaften		X								
Neuronale Netze			X								

Tabelle 1 (Teil 2): Einsatz der Optimierungsprinzipien in den verschiedenen Methoden

## 2.6 Methoden zur Lösung von Bewertungsmodellen

Bei den Bewertungsmodellen sind die einzelnen Handlungsalternativen explizit gegeben und es soll eine Entscheidung durch die Bewertung der Handlungsalternativen und Auswahl einer Alternative getroffen werden. Hierbei können grundsätzlich zwei Situationen unterschieden werden. Zum einen kann es sich um einen Entscheider, also eine Individualentscheidung handeln. Der komplexere Fall liegt vor, wenn mehrere Personen an einer Entscheidung beteiligt sind. Dies kann in Form eines Entscheidungsgremiums (Gruppenentscheidungen) oder in Form mehrerer Gegenspieler (Spieltheorie) mit gegensätzlichen Interessen der Fall sein.

Für die Lösung von Bewertungsmodellen bei **Individualentscheidungen** wurde eine Vielzahl von Methoden im Rahmen der Entscheidungstheorie entwickelt. Deren Vorgehensweise orientiert sich in erster Linie an der Sicherheit bzw. Unsicherheit, mit der die Handlungsalternativen und verschiedene Umweltzustände beschrieben werden können. Weitere wichtige Aspekte sind mehrperiodige und unscharfe bzw. Fuzzy-Entscheidungen.

Für **Gruppenentscheidungen** existieren verschiedene Methoden aus der Entscheidungstheorie wie beispielsweise die Abstimmungsregeln. Im Rahmen der **Spieltheorie** werden kooperative Spiele, bei denen die Spieler sich an verbindliche Abmachungen halten, und nichtkooperative Spiele erörtert. Die evolutionäre Spieltheorie befasst sich mit der Entwicklung der möglichen Aktionen einer Population von Spielern. Mit dem wiederkehrenden Aufeinandertreffen der Spieler in gleichen oder ähnlichen Spielsituationen beschäftigen sich wiederholte Spiele. Spielbäume sind ein grundlegendes Konzept der Extensivformspiele.

Der Abschnitt **Bewertungsverfahren** schließlich erörtert in der Praxis gängige Anweisungsvorschriften zum Einsatz von Bewertungsmethoden wie die Kosten-Nutzen-Analyse, die Nutzwertanalyse oder die Risikoanalyse.

## 3 Anwendungsbereiche im Verkehr

### 3.1 Einführung

Viele Aufgaben im Verkehr sind im Grunde Optimierungsprobleme. Als typische Beispiele seien hier die Gestaltung eines Verkehrsnetzes, die Standortplanung von Einrichtungen, die Linienkoordinierung von Lichtsignalanlagen, die Umlegung einer Verkehrsnachfrage auf ein Verkehrsnetz und die Umlaufplanung im ÖV genannt. Bei all diesen Aufgaben lassen sich das System und seine kausalen, zeitlichen oder räumlichen Zusammenhänge zunächst mit Erklärungsmodellen darstellen. Durch die Festlegung der Parameter und die Ergänzung einer mathematisch formulierten Zielsetzung (Zielfunktion) entstehen hieraus Optimierungsmodelle. Zur Lösung dieser Modelle stehen grundsätzlich eine Fülle von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden zur Verfügung.

Um die wesentlichen Einsatzmöglichkeiten von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden im Verkehr ermitteln, einfach analysieren und übersichtlich darstellen zu können, war die strukturierte Darstellung der wesentlichen Anwendungsbereiche im Verkehr erforderlich. So konnten Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Anwendungsbereiche herausgearbeitet werden und auch bisher nicht oder kaum betrachtete Anwendungsbereiche im Verkehr erkannt werden. Dabei bestand kein Anspruch auf Vollständigkeit, sondern es sollte vor

allem die große Bandbreite der möglichen Anwendung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden aufgezeigt werden. Aus diesen Möglichkeiten wurden gezielt einige Anwendungsbereiche ausgewählt und vertieft, für die Optimierungsfragen besonders bedeutsam erscheinen und die sich besonders gut für die Demonstration einzelner Entscheidungs- und Optimierungsmethoden eignen. Darüber hinaus ließ sich diese Darstellung nutzen, um mögliche neue Anwendungsbereiche für Entscheidungs- und Optimierungsmethoden im Verkehr aufzuzeigen und damit auf bestehenden Forschungs- oder Entwicklungsbedarf hinzuweisen. Die gewählte Systematik erlaubt es, zu einem späteren Zeitpunkt auch weitere Unterscheidungsmerkmale und Anwendungsbereiche zu ergänzen und kann damit an weitere Entwicklungen und Erkenntnisse angepasst werden.

### **3.2 Unterscheidungsmerkmale der Anwendungsbereiche**

Eine systematische Kategorisierung der vielfältigen Anwendungsbereiche für Fragen der Entscheidung und Optimierung im Verkehr kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Hier wurde eine praxisnahe Unterscheidung gewählt, um die Auffindbarkeit der jeweiligen Aufgabe zu erleichtern.

Im Einzelnen wurden folgende Unterscheidungsmerkmale für die Anwendungsbereiche von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden im Verkehr gewählt:

- Planungsgegenstand (Infrastruktur und Betrieb)
- Planungsraum, Detaillierung und Planungshorizont
- Verkehrsmittel
- Zielgruppe
- Ziele, Kriterien, Entscheidungsvariablen und Parameter
- Phasen des Planungsprozesses
- Ergebnisoptimierung und Prozessoptimierung
- Weitere Aspekte

Die Merkmale „Planungsgegenstand (Infrastruktur und Betrieb)“ sowie „Verkehrsmittel“ dienen dabei als Hauptunterscheidungsmerkmale, während das Merkmal „Planungsraum, Detaillierung und Planungshorizont“ zur weiteren Differenzierung genutzt wird. Die weiteren Merkmale finden sich meist bei allen Aufgaben wieder und werden deshalb in der Regel nur allgemeingültig beschrieben.

### **3.3 Strukturierung und Beschreibung der Anwendungsbereiche**

Aus den im vorherigen Abschnitt genannten wesentlichen Unterscheidungsmerkmalen wurde eine grundlegende Systematik aufgestellt. Aus den beiden Merkmalen „Planungsgegenstand (Infrastruktur und Betrieb)“ sowie aus „Planungsraum, Detaillierung und Planungshorizont“ wird die Tabelle 2 aufgespannt, in der die wesentlichen Anwendungsbereiche darstellt werden.

		Planungsgegenstand					
		Infrastruktur	Betrieb				Güterverkehr (GV)
			Individualverkehr (IV), multimodaler und intermodaler Verkehr	Öffentlicher Verkehr (ÖV)			
Planungsraum Planungshorizont	Detailierung	Netzplanung, Standortplanung	strategische Planung des Verkehrsmanagements	Linienplanung	Linienplanung	offline	
		Anlagenplanung	Betriebsplanung	Fahrplanung	Tourenplanung		
			Betriebsdurchführung	Einsatzplanung	Einsatzplanung		
			Betriebsdurchführung	Betriebsdurchführung	Betriebsdurchführung	online	

**Tabelle 2: Systematik wesentlicher Anwendungsbereiche im Verkehr**

Zur Abgrenzung des hier behandelten Themenfeldes Verkehr ist darauf hinzuweisen, dass die Planung der Infrastruktur hier nicht die Siedlungsplanung und die Raumplanung umfasst. Diese hat zwar maßgeblichen Einfluss auf Aufkommen und Verteilung des Verkehrs, ist jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Gleiches gilt für den Bau von Infrastruktur. Diese Aspekte des Baubetriebs und der Optimierung von Inhalten und Abläufen bei der Vorbereitung und Durchführung werden hier ebenfalls nicht behandelt. Dies gilt auch für fahrzeugtechnische Aspekte (Gestaltung, Antrieb etc.).

Tabelle 3 zeigt eine Liste möglicher Kriterien für die wesentlichen Zielbereiche Sicherheit, Qualität, Umfeldverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit, Tabelle 4 stellt Anwendungsbereiche der Optimierungskriterien dar.

Zielbereich	Optimierungskriterium	übliche Zielrichtung		Zielgruppe			Größe	Verkehrsmittel		
		Minimierung	Maximierung	Nutzer	Betreiber	Allgemeinheit		PV		GV
								ÖV	IV	
Sicherheit	Anzahl Unfälle	x		x		x	diskret	x	x	x
	Unfallschwere	x		x		x	stetig	x	x	x
	Personensicherheit		x	x		x	nominal	x	(x)	(x)
	Vandalismus	x		x	x	x	nominal	x	x	
Qualität	Erreichbarkeit		x	x	x		binär	x	x	x
	Zugänglichkeit		x	x	x		binär	x	x	x
	Wegelänge	x		x		x	stetig	x	x	x
	Reisezeit	x		x		x	stetig	x	x	x
	Geschwindigkeit		x	x	x	x	stetig	x	x	x
	Rückstau	x		x	x	x	stetig	x	x	x
	Anzahl Halte	x	(x)	x	x	x	diskret	x	x	x
	Umsteigehäufigkeit	x		x			diskret	x		
	Umwegfaktor	x		x	x	x	stetig	x	x	x
	Benutzbarkeit		x	x	x	x	nominal	x	x	x
	Informationsqualität		x	x			nominal	x	x	x
	Datenqualität		x	x	x	x	stetig	x	x	x
Umfeldverträglichkeit	Flächeninanspruchnahme	x			x	x	stetig	x	x	x
	Energieverbrauch	x		x	x	x	stetig	x	x	x
	Lärmemissionen	x		x	x	x	stetig	x	x	x
	Schadstoffemissionen	x		x	x	x	stetig	x	x	x
	Beeinträchtigung Stadt- und Landschaftsbild	x			x	x	nominal	x	x	x
	Trennwirkung	x			x	x	nominal	x	x	x
Wirtschaftlichkeit	Baukosten	x		x	x	x	stetig	x	x	x
	Betriebskosten	x		x	x	x	stetig	x	x	x
	Instandhaltungskosten	x		x	x	x	stetig	x	x	x
	Einnahmen		x		x	x	stetig	x	x	x
	Fahrzeuganzahl	x			x	x	diskret	x	x	x
	Fahrzeuggröße	x			x	x	diskret	x	x	x
	Zuladung		x		x		stetig	x	x	x
	Auslastung		x	x	x	x	stetig	x	x	x
	Besetzungsgrad		x	x	x	x	stetig	x	x	
Personalanzahl	x			x		diskret	x	x	x	
x	trifft zu									
(x)	trifft bedingt zu									

**Tabelle 3: Optimierungskriterien im Verkehr, übliche Zielrichtungen, Zielgruppen, Größen und Verkehrsmittel**

Optimierungskriterium	Anwendungsbereich										
	Infrastruktur			Betrieb IV und intermodal			Betrieb ÖV		Betrieb GV		
	Netzplanung, Standortplanung	Anlagenplanung	Strategische Planung des Verkehrs- managements	Betriebsplanung	Betriebsdurchführung	Linienplanung	Fahrplanung	Einsatzplanung/ Betriebsdurchführung	Linienplanung	Tourenplanung	Einsatzplanung/ Betriebsdurchführung
Anzahl Unfälle		x	x	x	x			x			
Unfallschwere		x		x	x			x			
Personensicherheit		x		x	x		x	x		x	
Vandalismus		x			x			x			
Erreichbarkeit	x		x	x		x	x		x	x	
Zugänglichkeit	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Wegelänge	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Reisezeit	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Geschwindigkeit	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rückstau		x		x	x		x			x	x
Anzahl Halte		x	x	x	x		x	x		x	x
Umsteigehäufigkeit		x	x	x	x		x	x		x	x
Umfwegfaktor	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Benutzbarkeit		x				x			x		
Informationsqualität					x			x			x
Datenqualität	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Flächeninanspruchnahme	x	x	x	x							
Energieverbrauch	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Lärmemissionen	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Schadstoffemissionen	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Beeinträchtigung Stadt- und Landschaftsbild	x	x	x	x		x			x		
Trennwirkung	x	x	x	x		x	x		x	x	
Baukosten	x	x	x								
Betriebskosten	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Instandhaltungskosten	x	x	x	x	x			x			x
Einnahmen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fahrzeuganzahl		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Fahrzeuggröße / Fahrzeugart		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zuladung		x		x	x		x			x	x
Auslastung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Besetzungsgrad			x	x	x			x			
Personalanzahl			x	x	x	x	x	x	x	x	x

x : Optimierungskriterium kann im Anwendungsbereich berücksichtigt werden

Tabelle 4: Optimierungskriterien und Anwendungsbereiche im Verkehr

## 4 Lösungsansätze für Entscheidungs- und Optimierungsprobleme in ausgewählten Anwendungsbereichen

Im Laufe des Projekts OptiV wurden insgesamt vierzehn Fallbeispiele erarbeitet. Dabei wurde darauf geachtet, die Fallbeispiele so auszuwählen, dass sowohl unterschiedliche Anwendungsbereiche im Verkehr als auch verschiedene Optimierungsmethoden erläutert und anschaulich aufbereitet werden. Folgende Fallbeispiele stehen derzeit zur Verfügung:

1. Schätzung von Herkunfts-/Zielbeziehungen - "Wie viele von A nach B?"
2. Schätzung von Nachfrageparametern – "Abschätzung der Verkehrsmittelwahl mit Hilfe von Logit und Maximum-Likelihood"
3. Wege in Verkehrsnetzen – "Optimal von A nach B"
4. Bildung von Gleichgewichtszuständen in Verkehrsnetzen nach Nutzer- oder Systemoptimum – "Von A nach B: Als Einzelkämpfer oder Teamplayer?"
5. Netzentwurf und Netzoptimierung - "Konzepte - Struktur - Dimensionierung"
6. Umlaufplanung für den ÖV – "Depots und Fahrten, Schüler und Pausen"
7. Anschlusssicherung – "Warten oder abfahren?"
8. Koordinierte Lichtsignalsteuerung - "Die perfekte Welle"
9. Zuflussregelungsanlagen – "Soviel wie nötig, nicht mehr als möglich!"
10. Steuerung von Wechselwegweisern – "Kalman-Filter vs. weißes Rauschen"
11. Parameterschätzung für Verkehrslage und Stauprognose - "Klassifizierung von Verkehrsdaten, Ganglinienbildung und Prognose"
12. Schülerbeförderung – "IKOSANA – Integrierte Koordinierung der Schulanfangszeiten und des Nahverkehrs-Angebots"
13. Integrierte Linien- und Taktfahrplanung – "Linienverlauf und Taktfahrplan gemeinsam optimieren"
14. Standortplanung – "Optimale Standorte von Depots und Haltestellen"

## 5 Dokumentation und Verbreitung der Ergebnisse

### 5.1 Dokumentation der Ergebnisse mit dem Autorenwerkzeug *teach Tool*

Im Rahmen eines umfangreichen Sondierungs- und Evaluierungsprozesses wurde ein für die Anforderungen des Projekts optimales Autorenwerkzeug gefunden. Das ausgewählte Autorenwerkzeug *teach Tool* (entwickelt am Fachbereich Mathematik und Naturwissenschaften, Bergische Universität Wuppertal) [3] ermöglicht es, auf schnelle und einfache Weise plattformunabhängige Module im HTML-Format zu erstellen. Der Arbeitsaufwand für die Dokumentation wird hiermit minimiert. Zudem gibt das *teach Tool* einen erprobten didaktischen Rahmen vor und bietet die Einbettung von interaktiven Gestaltungselementen wie JAVA-Applets, Kontrollfragen, animierte Graphiken etc. Durch Verknüpfungen (Links) sind die unterschiedlichen Nutzerebenen innerhalb eines Moduls realisierbar sowie Verweise auf andere Module und ein Glossar. Die Dokumentation wird inhaltlich angereichert durch

kleinere Rechenprogramme (meist MS EXCEL-Tabellenkalkulationen) oder JAVA-Applets, die dem Nutzer die rechnerische Problemlösung näher bringen. Die Programmcodes werden innerhalb der Module bereitgestellt und sind somit über die CD-ROM als auch das Internet-Portal zugänglich.

Das Autorenwerkzeug ist seit Projektabschluss Freeware und steht somit für die weitere Nutzung kostenfrei zur Verfügung (<http://www.matheprisma.de/teachTool>).

## 5.2 Internetportal [www.optiv.de](http://www.optiv.de)

Das Internet-Portal [www.optiv.de](http://www.optiv.de) wurde während des Projektverlaufs eingerichtet und weiter ausgebaut. Während der Projektlaufzeit diente es der Information und dem Austausch der Projektpartner sowie der Präsentation der Zwischenergebnisse. Mit Projektabschluss sind die Module allen Internetnutzern zugänglich. Auf dem Internet-Portal werden alle im Projekt erarbeiteten Ergebnisse veröffentlicht:

- Projekt OptiV: Allgemeine Informationen zum Projekt und zum Projekt-Team
- Modelle und Methoden
- Aufgaben im Verkehr
- Fallbeispiele
- Optimierungsmethoden im Verkehr
- Download: Downloadbereich für alle Module

Das Internetportal soll die folgenden Hauptanwendergruppen ansprechen:

- Hochschulausbildung
- Forschung und Entwicklung
- Zuständige Entscheidungsträger
- Systemanwender und –betreiber

Die Module sind grundsätzlich für das Selbststudium ausgelegt und bedienen somit alle Personen der Zielgruppen, die aus ihrer jeweiligen Motivation heraus grundlegendes sowie fortgeschrittenes Fachwissen über das Thema „Entscheidungs- und Optimierungsmethoden“ erlangen möchte. Ein geringes Maß an mathematischen Vorkenntnissen unterstützt die effektive Nutzung.

Der Grad und die Form der Interaktivität eines Moduls ist (bedingt durch den Projektablauf) abhängig von den methodischen Präferenzen der einzelnen Ersteller. Innerhalb des Projekts wurden keine Grundsätze zum Einsatz der interaktiven Elemente festgelegt.

Möglichkeiten zum Feedback für den Nutzer ergeben sich bei den Aufgaben in den Interaktionsteilen durch eine unmittelbare Lösungsauswertung (richtig/falsch) mit zusätzlichen Lösungshinweisen. Außerdem kann mit dem Ersteller des jeweiligen Moduls, der namentlich genannt ist, direkt Kontakt aufgenommen werden.

Die Besonderheit dieses Mediums liegt in der Einmaligkeit innerhalb der Fachdisziplin begründet. Das Internetportal ist eine der ganz wenigen frei zugänglichen Wissenssammlungen im Verkehrswesen. Für das Teilgebiet „Optimierung im Verkehrswesen“ gibt es kein vergleichbares Angebot [3].



### 5.3 Weitere Ansätze zur Verbreitung

Auf das Internetportal wurde in verschiedenen **Fachzeitschriften** hingewiesen, **Flyer** wurden bei verschiedenen einschlägigen Veranstaltungen verteilt. Die Ergebnisse wurden als **CD** über den FGSV-Verlag veröffentlicht [2]. Mit der geplanten späteren Neuauflage der CD soll ein Anreiz geschaffen werden, weitere Fallbeispiele zu erarbeiten und über die CD referenziert zu veröffentlichen.

Weiterhin fand am 09.12.2005 unter der Leitung der Projektbearbeiter der **Workshop** „Anwendung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden im Verkehr“ in Darmstadt statt. Ca. 50 Teilnehmer folgten der Einladung und erhielten einen Einblick in das Projekt. Erste Ergebnisse wurden in Form von Vorträgen und bereits implementierten Modulen präsentiert. In zwei Diskussionsrunden wurden das Maß der Nutzung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden in der Praxis erfragt sowie Anregungen und Wünsche der Teilnehmer an das Projekt gesammelt. Der Workshop wurde von der großen Mehrheit der Teilnehmer als positiv bewertet. Der Wunsch der verbesserten Zugänglichkeit zu Entscheidungs- und Optimierungsmethoden wurde deutlich, so dass die hohe Relevanz des Projekts bestätigt wurde.

Vom Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau an der Leibniz Universität Hannover wurden den **Studierenden** im Studiengang Bauingenieurwesen (8. Semester, Vertiefungsstudium) im Rahmen der Übungsveranstaltungen des Kurses „Verkehrsplanung und Modellierung“ im Sommersemester 2007 drei Module zum Selbststudium angeboten. Ziel des Angebots war es, den Studierenden einen weiteren Zugang zu der in der Vorlesung behandelten Thematik zu verschaffen und eine Hilfestellung bei der Lösung von drei der verteilten Arbeitsblätter zu geben. Da die Bearbeitung der Arbeitsblätter freiwillig war, konnte während des Kursverlaufs leider nicht ermittelt werden, ob die Benutzung der Module die Ziele begünstigt hatte. Daher wurde nach Abschluss der Prüfungen eine kurze Befragung aller Kursteilnehmer per Email vollzogen. Insgesamt kamen fünf Rückmeldungen zurück. Diese geringe Zahl lässt jedoch relativ repräsentative Aussagen zu, da der Kurs insgesamt nur acht Teilnehmer hatte.

Die Befragung ergab, dass die Bedienung der Module als „selbsterklärend und einfach“ befunden wurde. Durch die Module wurde das Thema der zugehörigen Vorlesung/Übung der Mehrheit „erst so richtig anschaulich und konnte inhaltlich verstanden werden“. Lediglich ein Studierender (Kursbester) bewertete die Module als „ergänzend, da er in der Vorlesung schon das meiste verstanden“ hatte. Die Module haben die Bearbeitung der Arbeitsblätter „etwas vereinfacht“, zumindest wussten die Nutzer anschließend „worum es geht“. Die Ausdruck-Funktion (Inhalt des Moduls als pdf) wurde sehr unterschiedlich genutzt: „alles lieber auf Papier haben, statt am Bildschirm zu arbeiten“ (1); „Inhalte für Unterlagen“ (1); „gar nicht, weil lieber am Bildschirm arbeiten“ (2); „Funktion gar nicht gefunden“ (1). Als grober Richtwert wurde die durchschnittliche Nutzung eines Moduls mit 30 – 60 Minuten angegeben. Insgesamt wurde bestätigt, dass die Benutzung der Module im Rahmen des Kurses für einen Studierenden „eine gute Ergänzung war und das Verstehen des Lernstoffs und Lösen der Aufgaben vereinfacht hat“, für drei Studierende „notwendig war, um den Lernstoff zu verstehen und die Aufgaben zu lösen“ und für einen (fachfremden) Studierenden „nicht hilfreich war“. Als Fazit bleibt festzuhalten, dass dieser erste Einsatz von OptiV.de-Modulen in der Lehre ermutigend war und im nächsten Semester verstärkt werden soll [4].

An der TU Darmstadt bietet das Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik ab dem Sommersemester 2008 einen Kurs „Entscheidungs- und Optimierungsmethoden im Verkehr“ an, der sich an Hauptvertiefer im Verkehrswesen insbesondere in den Studiengängen Bauingenieurwesen (Diplom und Master of Science) und Traffic and Transport (Master of Science) richtet und die Ergebnisse des Projekts OptiV unmittelbar nutzt.

## 6 Fazit und Ausblick

Im Projekt OptiV wurde der aktuelle Stand der Entscheidungs- und Optimierungsmethoden übersichtlich strukturiert und verständlich aufbereitet. Dabei ist es gelungen, einen sinnvollen Kompromiss zwischen der wünschenswerten Fülle und Tiefe einerseits und guter Handhabbarkeit andererseits zu finden. Insgesamt wurden 14 Fallbeispiele erstellt. Es konnten sowohl der Einsatz verschiedener Optimierungsmethoden als auch die Lösung verschiedener Anwendungsaufgaben anschaulich und meist interaktiv aufbereitet werden. Für die Darstellung der Ergebnisse wurde das Autorenwerkzeug *teach Tool* ausgewählt. Hiermit wurde das Internet-Portal [www.optiv.de](http://www.optiv.de) erstellt und eine CD-ROM [2] erarbeitet. Diese Medien sind die Grundlage für die Verbreitung der Ergebnisse in der Fachöffentlichkeit.

Mit den Projektergebnissen werden die Aktivitäten des FGSV-Arbeitskreises 3.10.2 „Entscheidungs- und Optimierungsmethoden“ wesentlich unterstützt. Für die Ausbildung in der Universität und für die Weiterbildung bereits in der Praxis tätiger Verkehrsingenieure steht damit eine gute Grundlage zur Verfügung, die bereits in der Lehre eingesetzt wird.

Vorrangiges Ziel nach Projektschluss ist die Fortführung des Internet-Portals. Dieses bietet das Potenzial, sich als eine Plattform zum Austausch zwischen Theoretikern und Praktikern zu etablieren. Es bleibt zu hoffen, dass die Projektergebnisse auf dieser Grundlage verstärkt Einzug in Lehre, Forschung und Praxis finden.

## 7 Literatur

- [1] OptiV Konsortium (2006): Erschließung von Entscheidungs- und Optimierungsmethoden für die Anwendung im Verkehr. Schlussbericht (gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)/Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Förderkennzeichen 19P4019 A/B/C).
- [2] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.) (2008): OptiV – Entscheidungs- und Optimierungsmethoden im Verkehr. CD-Veröffentlichung der Ergebnisse des vom BMBF/BMWi geförderten Projekts OptiV durch den Arbeitskreis „Entscheidungs- und Optimierungsmethoden“, Köln
- [3] BLANKENAGEL, K. (2006). *teachTool* – Ein Autorensystem mit didaktischer Benutzerunterstützung. 1. Aufl. WTM-Verlag, Münster
- [4] ROHDE, J.; BLANKENAGEL, K. (2007): Webbasierter Wissenstransfer im Verkehrswesen – Erste Erfahrungen mit dem Internetportal OptiV.de. Neue Medien in Vorlesungen, Seminaren & Projekten an der Leibniz Universität Hannover. Hannover, 16.11.2007, Tagungsband zur eTeaching&eScience Tagung.