

# **Nutzungsorientierte Fahrzeugkategorien im Straßenwirtschaftsverkehr**

—

Eine multidimensionale Analyse  
kraftfahrzeugbezogener Mobilitätsstrukturen

Vom Fachbereich Bauingenieurwesen  
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina  
zu Braunschweig

zur Erlangung des Grades eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte

Dissertation

von  
Dipl. Wirtsch.-Ing. Kai Markus Deneke  
aus Hamburg

2004

|                        |                                 |
|------------------------|---------------------------------|
| Eingereicht am:        | 09.07.2004                      |
| Mündliche Prüfung am : | 17.12.2004                      |
| Berichtersteller:      | Univ.-Prof. Dr. Manfred Wermuth |
| Berichtersteller:      | Prof. Dr.-Ing. Uwe Köhler       |



INSTITUT FÜR VERKEHR UND STADTBAUWESEN  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG  
UNIV.-PROF. DR. RER. NAT. MANFRED J. WERMUTH

**Schriftenreihe  
Heft 53**

**Kai Deneke**

## **Nutzungsorientierte Fahrzeugkategorien im Straßenwirtschaftsverkehr**

**SHAKER  
VERLAG**

**Aachen 2005**

**Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2004

Copyright Shaker Verlag 2005

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3802-6

ISSN 1615-2948

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Vorwort des Herausgebers

Der Wirtschaftsverkehr ist in der Verkehrsforschung ein bisher weitgehend vernachlässigter Bereich. Diese Behauptung ist allein schon aus der Tatsache ersichtlich, dass eine einheitliche Definition des Begriffs „Wirtschaftsverkehr“ bisher fehlt. Die Gründe für dieses Kenntnisdefizit sind vielfältig: So bestehen bereits bei der empirischen Erfassung dieser Verkehrsart (z. B. durch Betriebsbefragungen) erhebliche Schwierigkeiten, da der Wirtschaftsverkehr wirtschaftlichen Interessen dient und Informationen darüber von den Unternehmen nicht gern preisgegeben werden. Zudem weist der Wirtschaftsverkehr eine sehr heterogene Struktur auf, die in erster Linie von den Einflüssen der vielfältigen betrieblichen Abläufe in privaten Unternehmen und öffentlichen Einrichtungen geprägt wird.

Der Wirtschaftsverkehr umfasst in der dieser Forschungsarbeit zu Grunde liegenden Definition den Güterverkehr sowie den Personenverkehr zu geschäftlichen und dienstlichen Zwecken, also ohne den privaten Einkaufsverkehr und ohne den Berufsverkehr zwischen Wohnung und Arbeitsstätte. Während der Güterkraftverkehr mit großen Lastkraftwagen im Rahmen der Güterkraftverkehrsstatistik der amtlichen Statistik erfasst wird, fehlten bisher für den Verkehr der kleinen Lkw und Transporter mit bis zu 3,5 t Nutzlast sowie für gewerblich zugelassene Personenkraftwagen ausreichende Erkenntnisse.

Der Wirtschaftsverkehr wird im Allgemeinen im Rahmen von Haushaltsbefragungen zur Ermittlung des Personenverkehrs empirisch miterfasst. Wie Forschungen allerdings gezeigt haben, wird der Wirtschaftsverkehr dabei bis zu bis 70 Prozent untererfasst. Durch die vom Institut für Verkehr und Stadtbauwesen der TU Braunschweig initiierte und im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bauen und Wohnen federführend durchgeführte bundesweite Verkehrsbefragung „Kraftfahrzeugverkehr in Deutschland“ (KiD 2002) konnte ein neuer Weg zur validen Erfassung des Wirtschaftsverkehrs mit Kraftfahrzeugen beschritten werden. Mit diesem auch im internationalen Vergleich bisher einmaligen Datenmaterial können insbesondere die bestehenden Erkenntnislücken geschlossen und die Gesetzmäßigkeiten der Entstehung und des Ablaufes des Wirtschaftsverkehrs erforscht werden.

Wie die neuen Ergebnisse zeigen, weist der Wirtschaftsverkehr mit rund einem Drittel einen sehr hohen Anteil an der Verkehrsleistung im werktäglichen Straßenverkehr auf. Zudem sind die prognostizierten Zuwachsraten dieser Verkehrsart sehr hoch. Somit besteht ein erheblicher Forschungsbedarf in diesem Bereich, wenn die sich abzeichnenden Verkehrsprobleme in der Zukunft gelöst werden sollen.

Die Untersuchung von Herrn Dr.-Ing. Kai Deneke widmet sich diesem Forschungsbedarf und speziell der zunächst wichtigsten Frage, nämlich der Segmentierung der Kraftfahrzeuge und ihrer gewerblich bedingten Einsatzmuster. Die Lösung dieser Aufgabe ist erforderlich, um die Vielfalt der Fahrzeugeinsatzmuster auf ein überschaubares und handhabbares Maß zu reduzieren. Sie ist unabdingbare Basis für Verkehrserzeugungsmodelle zur Abbildung und zur Prognose des Wirt-

schaftsverkehrs. Ferner sind die Ergebnisse dieser Arbeit für zukünftige empirische Erhebungen von großem Nutzen, da auf der Basis dieser Erkenntnisse effektivere Stichprobenpläne und damit kostengünstigere Erhebungen möglich werden.

Herr Dr.-Ing. Kai Deneke hat mit dieser mathematisch-statistisch sehr anspruchsvollen und sehr sorgfältig durchgeführten Arbeit einen wichtigen Grundstein für bessere Verkehrsnachfragemodelle des Wirtschaftsverkehrs gelegt. Die Arbeit reiht sich somit konsequent in die am Institut für Verkehr und Stadtbauwesen durchgeführte Forschung ein.

*Univ.-Prof. Dr. Manfred Wermuth*

## Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als externer Doktorand am Institut für Verkehr und Stadtbauwesen der Technischen Universität Braunschweig. Ihre Erstellung war nur durch die intensive Unterstützung zahlreicher Personen möglich. Dabei gilt mein besonderer Dank zunächst meinem akademischen Lehrer, Herrn Univ.-Prof. Dr. Manfred Wermuth, für seine fachlichen Impulse, sein Vertrauen und die konstruktive Förderung der Dissertation während der gesamten Zeit ihrer Entstehung. Zu großem Dank verpflichtet bin ich weiterhin Herrn Prof. Dr.-Ing. Uwe Köhler für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Die im Rahmen der Arbeit durchgeführten quantitativen Untersuchungen basieren auf umfangreichen Mobilitätsdaten, die in einer bundesweiten, im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums und unter Federführung des Instituts für Verkehr und Stadtbauwesens (IVS) der Technischen Universität Braunschweig durchgeführten Verkehrsbefragung erhoben wurden. Für die freundliche Unterstützung durch die an diesem Projekt beteiligten Personen möchte ich mich nachdrücklich bedanken. Besonders verbunden bin ich hierbei den Mitarbeitern des IVS, die mir bei der Erstellung der Arbeit stets mit Rat und Tat zur Seite standen. Hervorzuheben ist vor allem Herr Dipl.-Ing. Christian Neef, der als geduldiger und kompetenter Diskussionspartner mit seiner tiefen Kenntnis zu allen Fragen des Wirtschaftsverkehrs eine unverzichtbare Hilfe bei der konzeptionellen Entwicklung der Arbeit war. Großer Dank gebührt in diesem Zusammenhang auch Herrn Dipl.-Inform. Holger Löhner für die Unterstützung bei der Aufbereitung und Strukturierung des umfangreichen Datenmaterials.

Auf Seiten meines Arbeitgebers, der Firma McKinsey & Company, danke ich vor allem meinen Kollegen im Hamburger Büro, die nicht nur mit kritischen Kommentaren und motivierenden Aufmunterungen, sondern auch mit persönlichen Gesprächen und privaten Unternehmungen zum Gelingen dieser Arbeit beitrugen.

Ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich seit frühester Jugend gefördert, meine Interessen und Aktivitäten stets unterstützt und mir dabei jeden erdenklichen Freiraum gewährt haben. Ohne euch wäre Vieles nicht möglich gewesen, das mir heute selbstverständlich erscheint.

Schließlich möchte ich dir, liebe Sandra, von ganzem Herzen danken für deine Geduld und die Bereitschaft, dich trotz der Belastung durch deine eigene Promotion immer wieder mit meinen Ausführungen zu beschäftigen und mich stets aufs Neue zu motivieren. Vor allem dank deiner Unterstützung und deines Zuspruchs war die Zeit meiner Promotion eine wirklich bereichernde Erfahrung. Dir ist diese Arbeit gewidmet.

*Kai Deneke*





# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                                               |          |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>EINFÜHRUNG .....</b>                                                                       | <b>1</b> |
| 1.1      | Problemstellung und Untersuchungsanlass .....                                                 | 1        |
| 1.2      | Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands .....                                                 | 4        |
| 1.3      | Zielsetzung der Arbeit .....                                                                  | 5        |
| 1.4      | Untersuchungsablauf .....                                                                     | 7        |
| <b>2</b> | <b>GRUNDLAGEN .....</b>                                                                       | <b>9</b> |
| 2.1      | Konzeptionelle Grundlagen .....                                                               | 9        |
| 2.1.1    | Abgrenzungen und Segmentierungen des Wirtschaftsverkehrs .....                                | 9        |
| 2.1.2    | Das Konstrukt "homogene Gruppen" in der Verkehrsforschung .....                               | 14       |
| 2.1.3    | Ableitung des Konstrukts "nutzungsorientierte Fahrzeugkategorien im Wirtschaftsverkehr" ..... | 16       |
| 2.1.4    | Beispiele mobilitätsorientierter Kategorisierungen in der Verkehrsforschung .....             | 21       |
| 2.1.5    | Anforderungen an nutzungsorientierte Fahrzeugkategorien .....                                 | 28       |
| 2.2      | Empirische Datengrundlage .....                                                               | 29       |
| 2.2.1    | Übersicht über die Erhebung KiD 2002 .....                                                    | 30       |
| 2.2.1.1  | Untersuchungsgegenstand .....                                                                 | 30       |
| 2.2.1.2  | Stichprobenplanung und -realisierung .....                                                    | 32       |
| 2.2.1.3  | Erhebungsprogramm .....                                                                       | 33       |
| 2.2.2    | Datengrundlage der vorliegenden Arbeit .....                                                  | 35       |
| 2.3      | Grundlagen der numerischen Klassifizierung .....                                              | 36       |
| 2.3.1    | Grundprinzip und Ablauf der Clusteranalyse .....                                              | 37       |
| 2.3.2    | Anforderungen an die Klassifikationseinheiten .....                                           | 39       |
| 2.3.3    | Anforderungen an die Klassifikationsmerkmale .....                                            | 40       |
| 2.3.4    | Ähnlichkeits- und Distanzmaße .....                                                           | 43       |
| 2.3.5    | Clusterverfahren .....                                                                        | 45       |
| 2.3.5.1  | Hierarchische agglomerative Verfahren .....                                                   | 46       |
| 2.3.5.2  | Partitionierende Verfahren .....                                                              | 48       |
| 2.3.6    | Auswahl einer Clusterlösung .....                                                             | 50       |
| 2.3.7    | Beurteilung und Prüfung einer Clusterlösung .....                                             | 52       |
| 2.3.8    | Behandlung von Ausreißern .....                                                               | 56       |
| 2.3.9    | Verwendete Software .....                                                                     | 56       |
| 2.4      | Grundlagen des Sequence Alignment .....                                                       | 57       |
| 2.4.1    | Theoretische Grundlagen .....                                                                 | 58       |
| 2.4.2    | Methodik und Ablauf des Sequence Alignment .....                                              | 60       |
| 2.4.3    | Anwendungen des Sequence Alignment in der Verkehrsforschung .....                             | 62       |

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3 BESTIMMUNG NUTZUNGSORIENTierter FAHRZEUGKATEGORIEN IM WIRTSCHAFTSVERKEHR.....</b>   | <b>64</b> |
| 3.1 Vorbereitung der Kategorisierung.....                                                | 64        |
| 3.1.1 Auswahl der Klassifizierungsmerkmale.....                                          | 64        |
| 3.1.1.1 Variablensystem für die Basiskategorisierung.....                                | 67        |
| 3.1.1.2 Variablensysteme für dimensionsspezifische Kategorisierungen .....               | 70        |
| 3.1.1.3 Zusammenfassung der Klassifizierungsvariablen .....                              | 77        |
| 3.1.2 Bildung der Klassifikationseinheiten.....                                          | 78        |
| 3.1.2.1 Annahmen und Vorgehen bei der A-priori-Kategorisierung der Einzelfahrzeuge.....  | 78        |
| 3.1.2.2 Auswahl von Strukturmerkmalen für die A-priori-Kategorisierung .....             | 79        |
| 3.1.2.3 Durchführung und Ergebnisse der A-priori-Kategorisierung .....                   | 97        |
| 3.1.3 Auswahl der Clusterverfahren und Zusammenfassung des Klassifizierungsablaufs ..... | 102       |
| 3.2 Kategorisierung von Kraftfahrzeugen bis 3,5 t Nutzlast.....                          | 106       |
| 3.2.1 Basiskategorisierung.....                                                          | 106       |
| 3.2.1.1 Auswahl einer Clusterlösung.....                                                 | 106       |
| 3.2.1.2 Kurztypisierung der Basiskategorisierung .....                                   | 113       |
| 3.2.1.3 Beurteilung der Homogenität und Kompaktheit der Basiskategorisierung .....       | 118       |
| 3.2.2 Dimensionsspezifische Kategorisierungen.....                                       | 121       |
| 3.2.3 Strukturorientierte Synthese der Clusterlösungen .....                             | 136       |
| 3.2.3.1 Ableitung der finalen Fahrzeugkategorisierung .....                              | 136       |
| 3.2.3.2 Ableitung einer reduzierten Fahrzeugkategorisierung .....                        | 140       |
| 3.2.4 Fahrzeugkategorisierung anhand von Sequenzmustern .....                            | 141       |
| 3.2.4.1 Ermittlung von Sequenztypen .....                                                | 144       |
| 3.2.4.2 Fahrzeugkategorisierung auf Basis der Sequenztypen .....                         | 148       |
| 3.2.4.3 Fazit aus der sequenzanalytischen Untersuchung .....                             | 152       |
| 3.2.5 Stabilität der Fahrzeugkategorisierung.....                                        | 152       |
| 3.2.5.1 Stabilität gegenüber stichprobenbedingten Zufallseinflüssen .....                | 152       |
| 3.2.5.2 Einfluss der Mobilitätsrate.....                                                 | 154       |
| 3.2.5.3 Stabilität gegenüber der Variation der Klassifikationseinheiten .....            | 157       |
| 3.2.6 Homogenität der Fahrzeugkategorien.....                                            | 159       |
| 3.2.7 Einfluss der Raumstruktur auf die Fahrzeugkategorisierung.....                     | 163       |
| 3.3 Kategorisierung von Lkw über 3,5 t Nutzlast und Sattelzugmaschinen .....             | 167       |
| 3.3.1 Vorbereitung der Klassifizierung .....                                             | 167       |
| 3.3.2 Durchführung der Klassifizierung .....                                             | 168       |
| 3.3.3 Typisierung und strukturorientierte Modifizierung.....                             | 169       |

|          |                                                                                                                        |            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4</b> | <b>EMPIRISCHE BEFUNDE ZU DEN FAHRZEUGKATEGORIEN .....</b>                                                              | <b>171</b> |
| 4.1      | Analyse der kategoriespezifischen Einsatzmuster .....                                                                  | 171        |
| 4.1.1    | Analyse der Trennstärke der Zeitbudgetvariablen.....                                                                   | 172        |
| 4.1.2    | Analyse anhand weiterer Kenngrößen der Fahrzeugnutzung .....                                                           | 174        |
| 4.2      | Zusammenfassende Beschreibung der Fahrzeugkategorien .....                                                             | 183        |
| 4.2.1    | Gewerblich genutzte Krafträder (Kat. 1 und 2).....                                                                     | 190        |
| 4.2.2    | Pkw in Agrarwirtschaft, Energieversorgung und Verwaltung (Kat. 3) .....                                                | 191        |
| 4.2.3    | Pkw im Industrie- und Dienstleistungssektor und im Baugewerbe (Kat. 4, 5 und 6) .....                                  | 192        |
| 4.2.4    | Kleinbusse (Kat. 7 und 8).....                                                                                         | 195        |
| 4.2.5    | Lkw bis 3,5 t Nutzlast in der Agrarwirtschaft sowie in Bergbau, Energieversorgung und Verwaltung (Kat. 9 und 10) ..... | 196        |
| 4.2.6    | Lkw bis 3,5 t Nutzlast im Industrie- und Dienstleistungssektor (Kat. 10, 11 und 12).....                               | 197        |
| 4.2.7    | Lkw bis 3,5 t Nutzlast im Baugewerbe (Kat. 14).....                                                                    | 200        |
| 4.2.8    | Lkw bis 3,5 t Nutzlast im Verkehrsgewerbe (Kat. 15 und 16) .....                                                       | 201        |
| 4.2.9    | Privat genutzte Fahrzeuge bis 3,5 t Nutzlast (Kat. 17, 18 und 19) .....                                                | 202        |
| 4.2.10   | Lkw über 3,5 t Nutzlast und Sattelzugmaschinen (Kat. 20 bis 23).....                                                   | 204        |
| <b>5</b> | <b>SCHLUSSBETRACHTUNGEN.....</b>                                                                                       | <b>206</b> |
| 5.1      | Ergebniszusammenfassung der Fahrzeugkategorisierung.....                                                               | 206        |
| 5.2      | Verwendung der Fahrzeugkategorien in Verkehrsmodellen .....                                                            | 211        |
| 5.2.1    | Grundsätzliche Eignung der Kategorien als Modellierungsgrundlage .....                                                 | 211        |
| 5.2.2    | Praktische Empfehlungen .....                                                                                          | 217        |
| 5.3      | Verwendung der Fahrzeugkategorien als Schichtungsgrundlage .....                                                       | 220        |
| 5.3.1    | Mathematische Herleitung des Schichtungseffekts .....                                                                  | 221        |
| 5.3.2    | Ergebnisse für den Schichtungseffekt und Empfehlungen für zukünftige Erhebungen.....                                   | 223        |
| 5.4      | Ausblick.....                                                                                                          | 225        |
|          | <b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>                                                                                       | <b>228</b> |
|          | <b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>                                                                                      | <b>238</b> |
|          | <b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>                                                                                        | <b>243</b> |
|          | <b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>                                                                                     | <b>247</b> |
|          | <b>ANHANG.....</b>                                                                                                     | <b>249</b> |