

1 Einleitung

Der Wirtschaftsverkehr tritt aufgrund des zunehmenden Anteils dieser Verkehrsart am gesamten Verkehrsaufkommen in den vergangenen Jahren immer stärker in den Fokus der Verkehrsplanung. Darüber hinaus handelt es sich im Vergleich zum Personenverkehr um das am stärksten wachsende Segment im Verkehr. Insbesondere der Teilbereich des Güterverkehrs wuchs in der Vergangenheit, so stieg die Verkehrsleistung in Deutschland bspw. von 2000 bis 2008 um 30 %. Im Jahr 2008 wurden in Deutschland rund 4,5 Mrd. Tonnen Güter per Straße, Schiene, Schiff, Flugzeug und in Rohrleitungen transportiert und dabei eine Transportleistung von 668 Mrd. Tonnenkilometern (tkm) erbracht. Mehr als 75 % aller Beförderungen (3,0 Mrd. t) fanden dabei 2008 auf der Straße statt. Auch bezogen auf die Verkehrsleistung zeigt sich die Bedeutung der Straßentransporte für den Güterverkehr – hier entfielen 2008 auf den Straßengüterverkehr mit 472 Mrd. tkm ca. 70 % der gesamten in Deutschland erbrachten Verkehrsleistung [STAT10b]. Im Jahr 2009 lagen Verkehrsaufkommen und -leistung im Güterverkehr aufgrund der Wirtschafts- und Finanzkrise 11,2 % bzw. 10,6 % unter den Vorjahreswerten. Zukünftig wird der Güterverkehr in Deutschland jedoch aller Voraussicht nach weiter stark wachsen, wobei das Wachstum überproportional auf der Straße erfolgen wird. Die im Auftrag des BMVBS erstellte „Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025“ weist für die Verkehrsleistung mit den Verkehrsträgern Straße, Schiene und Binnenschiff zwischen 2004 und 2025 ein Wachstum von ca. 548 Mrd. tkm um insgesamt 71 % auf 937 Mrd. tkm aus [ITP07]. Ähnliche Trends bezüglich der Güterverkehrsentwicklung lassen sich der im Jahre 2007 im Auftrag des BMVBS erstellten Studie zur Abschätzung der langfristigen Entwicklung des Güterverkehrs in Deutschland bis 2050 entnehmen [PROG07]. Demnach ist von 2005 bis 2050 mit einem Anstieg des Güterverkehrsaufkommens auf 5,5 Mrd. t um über 48 % und der Verkehrsleistung auf mehr als 1.200 Mrd. tkm (+ 106 %) zu rechnen.

1.1 Problemstellung

Der wachsende Wirtschaftsverkehr, der sich vor allem auf den Verkehrsträger Straße konzentriert, führt zu zunehmenden Störungen anderer Verkehrsteilnehmer und der Umwelt im Allgemeinen. Damit sind erhebliche negative ökonomische und ökologische Folgewirkungen verbunden, die insbesondere in Ballungsräumen wahrnehmbar sind [FLAE05], [ARND05]. Darüber hinaus führt diese Entwicklung zu Kapazitätsengpässen auf Fernstraßennetzen, aber auch auf wichtigen Verbindungen im Schienennetz. Die Erhöhung des quantitativen Umfangs des nationalen und internationalen Güterverkehrs ist insbesondere auf Strukturveränderungen in Gesellschaft und Wirtschaft sowie technische Innovationen zurückzuführen. Als Gründe hierfür sind z. B. die Globalisierung, die Deregulierung der Transportmärkte sowie der Integrationsprozess der Europäischen Union inkl. EU-Osterweiterung zu nennen [CLAU09a]. Aber auch das veränderte Käuferverhalten der Endkunden sowie die Entwicklung von Produktionsstrategien und Versorgungskonzepten der güterausstauschenden Unternehmen tragen dazu bei [CLAU05]. Unternehmen sind in ein Netzwerk von Güterverflechtungen eingebunden, in dem sie sowohl als Quellen als auch als Senken von Warenströmen auftreten. Die unternehmensspezifischen Beschaffungs- und Distributionsstrukturen und die damit verbundenen Konzepte sind maßgeblich für die Entstehung von Warenströmen verantwortlich. Ursache von Güterverkehren sind somit Unternehmen, die Waren zur Produktion, Kommissionierung oder einem allgemein gearteten Wertschöpfungsprozess an einem definierten Standort generieren bzw. anfordern.

Von Seiten der Verkehrswissenschaft untersucht der Bereich der Verkehrsgenese-forschung Ursachen der Entstehung und Ausdifferenzierung des Verkehrs – meist bezogen auf den Personenverkehr. Der Begriff der Verkehrsgenese-forschung bezeichnet somit „die Erforschung der Gründe und Ursachen für die Entstehung von Verkehr“ [SCHE07] und fokussiert auf die Verkehrsnachfrage. Bezogen auf die Verkehrsgenese des Güterverkehrs ist die Kenntnis über die Entstehung des Wirtschaftsverkehrs und die v. a. den Güterverkehr auslösenden Güternetzwerke und Logistikstrukturen nicht ausreichend. Im Rahmen von Verkehrsplanung und Verkehrsmanagement werden Verkehrsmodelle eingesetzt, um das Wachstum des Güterverkehrs abzubilden und Informationen für seine verbesserte Lenkung zu liefern [VAR05]. Bislang existiert jedoch nur wenig detailliertes Wissen in der Verkehrsplanung hinsichtlich der Kenntnis der Interdependenzen von Güternetzwerken, ihrer Bestimmungsgrößen sowie der logistischen Konzepte [NAT05]. Da Güterverkehr kein Selbstzweck ist, sondern eine Folge von Produktions-, Beschaffungs- und Distributionsvorgängen, ist deren Untersuchung zur Bildung eines Erklärungsansatzes für den Wirtschaftsverkehr erforderlich, zumal die mit den Güternetzwerken verbundenen physischen Transportvorgänge in hohem Maße von den Logistikkonzepten der organisierenden und verladenden Wirtschaft abhängig sind.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Mit der Arbeit sollen vor dem geschilderten Hintergrund Grundlagen für eine umfassende logistische Betrachtung von Unternehmen im Rahmen der Wirtschaftsverkehrsmodellierung geschaffen werden. Hierzu wird eine logistikorientierte Sichtweise für die Wirtschaftsverkehrsmodellierung eingenommen, die darauf abzielt, die Ursachen der Güterverkehrsnachfrage besser modellseitig abzubilden und eine ganzheitliche Betrachtung von Produktions-, Distributions- und Transportketten ermöglicht. Die neue Betrachtungsweise stützt sich daher auf die Beschaffungs-, Lager- und Distributionsstrukturen und -strategien von Unternehmen mit den daraus resultierenden Warenströmen und deren Überlagerung zu Warenstrommatrizen. Als Gesamtziel wird verfolgt, einen Modellansatz zur Abbildung des Güterwirtschaftsverkehrs zu konzipieren, der auf Warenstrommatrizen unter Berücksichtigung logistischer Strategien basiert und somit die logistischen Abläufe einer Modellbildung zugänglich macht. Dadurch soll eine Verbesserung der Abbildungsgenauigkeit der durch Unternehmensstandorte induzierten Güterverkehre erreicht werden. Im Einzelnen können die Ziele der Arbeit wie folgt formuliert werden:

- Methodische Fundierung des Vorgehens durch Diskussion der Ansätze der Wirtschaftsverkehrsmodellierung sowie der systembildenden Methodik,
- Schaffung eines Instrumentariums zur systematischen Erfassung der Unternehmenslogistik durch Zusammenstellung eines Katalogs wichtiger logistischer Merkmale sowie
- Entwicklung eines Modellansatzes zur Verkehrsnachfragemodellierung unter Anwendung der unternehmenslogistischen typologischen Ordnung.

Im Rahmen der Arbeit wird dabei insbesondere eine typologische Ordnung logistischer Aspekte erstellt und anschließend die Anwendung dieser auf den Bereich der Wirtschaftsverkehrsmodellierung gezeigt. Dazu wird ein betriebsorientierter Modellansatz zur Beschreibung von Warenströmen entwickelt, der die einzelnen Warenströme verursachungsgerecht abbildet und durch die Überlagerung einzelner Ströme eine Warenstrommatrix erzeugt. Die Arbeit leistet somit einen Beitrag zu einer stärkeren logistischen Durchdringung und zu einer differenzierteren Berücksichtigung von Unternehmen in der Verkehrsmodellierung. Dies eröffnet der Verkehrsmodellierung einen neuen Ansatz zur detaillierten Abbildung und Prognose des Wirtschaftsverkehrs.

1.3 Aufbau der Arbeit

Nachdem in den vorangegangenen Ausführungen die Problemstellung und die Zielsetzung einer logistikorientierten Verkehrsnachfragemodellierung skizziert wurden, soll im weiteren Verlauf dieser Arbeit eine detaillierte Auseinandersetzung mit diesem Thema erfolgen. Die vorliegende Arbeit ist dazu in drei Teile gegliedert.

Der erste Teil *Grundlagen* beinhaltet nach dem einleitenden Kapitel die Aufarbeitung der theoretischen Grundlagen zum Güterwirtschaftsverkehr. Dazu werden in Kapitel zwei in einem Überblick die verwendeten Begriffe definiert und Erklärungsansätze zum Zusammenhang zwischen Logistik und Verkehren skizziert. Kapitel drei thematisiert die Grundlagen der Verkehrsmodellierung und beinhaltet die Analyse bereits bestehender Ansätze aus Wissenschaft und Technik zur Modellierung des Güterwirtschaftsverkehrs unter Berücksichtigung logistischer Aspekte. Das Kapitel schließt mit einer Bewertung der Ansätze und der Formulierung des Forschungsbedarfs ab.

Im zweiten Teil *Entwicklung einer typologischen Ordnung* wird in Kapitel vier zunächst der Betrachtungsraum der Arbeit festgelegt und das Untersuchungsobjekt abgegrenzt. Mit der Beschreibung der systembildenden Methoden wird die Basis für die Entwicklung einer typologischen Ordnung als Systematisierungs- und Modellierungsansatz gelegt. Die detaillierte Definition und Beschreibung der Merkmale, die als Merkmalskatalog die Grundlage einer typologischen Ordnung darstellen, ist Inhalt des fünften Kapitels.

Der dritte Teil *Modellierung der Verkehrsnachfrage* umfasst die Entwicklung einer Vorgehensweise zur Verkehrsnachfragemodellierung. Hierfür wird nach einer Skizzierung des Modellkonzeptes unter Anwendung der systembildenden Methoden ein mehrstufiges Verfahren zur phänomenologischen Modellierung dargestellt und die in der zuvor entwickelten typologischen Ordnung enthaltenen Merkmale eingebunden. Mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse und dem anschließenden Ausblick zu weiteren Forschungsbedarfen schließt die Arbeit.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Unternehmensstandorte treten im Rahmen des Güterverkehrs sowohl als Quelle als auch als Senke von Verkehren auf und sind somit in ein Netzwerk von Güterverflechtungen eingebunden. Das Quellen- und Senkenverhalten dieser Standorte ist dabei im Wesentlichen durch unternehmerische Entscheidungen geprägt, die sich – aus logistischer Sicht – insbesondere in den eingesetzten Logistikstrategien und -strukturen widerspiegeln. In aktuellen Wirtschaftsverkehrsmodellen werden die logistische Sichtweise auf die Prozesse und die damit verbundenen vielseitigen Ausprägungen von Transportvorgängen bislang nur unzureichend abgebildet, obwohl der Zusammenhang zwischen Logistik und Güterverkehren bekannt ist. Dabei gewinnen Logistikkonzepte in heutigen Industrie- und Handelsunternehmen zunehmend an Bedeutung und prägen den zeitlichen und räumlichen Verlauf von Waren- und Transportströmen. In Wirtschaftsverkehrsmodellen, die zur Erklärung und Prognose von Güter- und Personenwirtschaftsverkehren eingesetzt werden, ist daher die Modellierung des Güterverkehrs in Abhängigkeit der logistischen Entscheidungen und der damit verbundenen Strukturen vorzunehmen. Die vorliegende Arbeit befasst sich vor diesem Hintergrund mit der Entwicklung eines Ansatzes zur verbesserten Modellierung des Güterwirtschaftsverkehrs durch die Einbindung logistischer Aspekte.

Die im Rahmen der Arbeit entwickelte Systematik stellt die Grundlage zur Integration unternehmenslogistischer Aspekte in die Verkehrsnachfragemodellierung dar. Dazu ist zunächst eine Theorie zur systematischen Beschreibung von Unternehmen unter Einbezug ihrer logistischen Konzepte und Strukturen erarbeitet und die Methode der typologischen Ordnung als Systematisierungs- und Modellierungsansatz gewählt worden. Dieses Verfahren erlaubt es, systematisch Unternehmen bezogen auf ihre logistischen Aspekte und Transporte zu analysieren sowie darauf aufbauend Typen mit ähnlichen Merkmalen bzw. Merkmalsausprägungen zu identifizieren. Die typologische Ordnung ermöglicht aufgrund ihrer verwendeten Sachordnungen die Unterteilung eines Unternehmens einerseits entsprechend seiner funktionalen Gliederung in die Bereiche Beschaffungslogistik, Intralogistik, Distributionslogistik sowie Transportlogistik, zum anderen basierend auf der Gliederung nach den logistischen Komponenten Strategie, Struktur und Objekt. Ergänzt wurde die typologische Ordnung zudem um „Stammdaten“ der Analyseobjekte, wie bspw. Wirtschaftszweig und Mitarbeiteranzahl. Auf dieser Basis ist die Identifikation von unternehmenslogistischen und transportlogistischen Daten, bspw. von Beschaffungskonzepten, Entfernungsstrukturen oder Verkehrsmittelwahlverhalten, möglich.

Die im ersten Teil der Arbeit entwickelte Systematik zur typologischen Ordnung von Logistikstrategien und -strukturen bildet aufgrund der gewählten Methodik sowie der integrierten Betrachtung von unternehmenslogistischen und transportlogistischen Merkmalen eine geeignete Grundlage, um den Anwendungskontext von Modellierungsansätzen im Bereich der Verkehrsnachfragemodellierung zu beschreiben. Dazu ist ein Ansatz der Wirtschaftsverkehrsmodellierung entwickelt worden, welcher das Quellen- und Senkenverhalten im Güterverkehr aufgrund der eingesetzten Logistikstrategien von Unternehmen beschreibt. Hierbei lag der Schwerpunkt auf der mikroskopischen, disaggregierten Modellierung der Verkehrsnachfrage einzelner produzierender Unternehmen und ihrer Parametrisierung. Die Merkmale und Merkmalsausprägungen der typologischen Ordnung werden entsprechend als Konfigurationsparameter bei der Definition von Anpassungsvorschriften für Verkehrsnachfragemodelle verwendet und in Nebenbedingungen überführt. Diese umfassen zum einen Restriktionen zur geographischen Lage und Infrastruktur sowie Nebenbedingungen zur Charakterisierung und Transformation der

verschiedenen logistischen Objekte. Darüber hinaus sind Nebenbedingungen zu Waren und Warenströmen sowie zu Transporte, Transportketten und Transportströmen und den Zusammenhängen zwischen Waren- und Transportströmen im Modell enthalten.

Zur adäquaten Abbildung der Verkehre und der zugehörigen Transportketten im Modellierungsansatz ist nicht nur die Berücksichtigung der gütertauschenden Unternehmen erforderlich, sondern auch die Abbildung der verwendeten logistischen Knoten bei mehrstufigen Transportketten. Um eine genaue Differenzierung hinsichtlich der Austauscharten zu ermöglichen, sind zwei unterschiedliche Bezugsebenen zur Beschreibung von Strömen zwischen Verkehrszellen eingeführt worden: Production-Consumption-Beziehung zur Beschreibung von Warenströmen und Origin-Destination-Beziehung zur Beschreibung von Transportströmen. Dies ermöglicht die Abbildung komplexer Transportketten und -zusammenhänge und somit die Zerlegung der Warenströme in einzelne Transportströme. Die dazu entwickelte sechstufige Modellstruktur beinhaltet als einzelne Schritte die Bereiche der Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung, Definition der logistischen Unternehmensstrukturen, Bestimmung der warenstromspezifischen Sendungsgrößen, Verkehrsmittel- und Transportkettenwahl sowie Verkehrsumlegung.

Die Arbeit leistet einen Beitrag dazu, grundlegende Zusammenhänge zwischen den Unternehmen unter Berücksichtigung ihrer logistischen Strukturen und Strategien auf der einen Seite und dem Güterverkehr auf der anderen Seite zu erforschen, zu strukturieren und modellseitig nutzbar zu machen. Die systematische Aufbereitung logistischer Aspekte von Unternehmen fokussierte bislang stets auf einen funktionalen Teilbereich des Logistiksystems. Eine integrierte Betrachtung der Merkmale unter Einbezug zweier Sachordnungen, die Erweiterung um den Funktionsbereich der Transportlogistik und deren Einbindung in eine typologische Ordnung stellt somit eine Erweiterung des bisherigen Forschungsstandes, insbesondere im Bereich der Verkehrsmodellierung, dar. Mittels der Verknüpfung des logistischen Fachwissens und dem Bereich der Verkehrsnachfragetheorie und -modellierung sind im Rahmen der Arbeit typologische Ordnungen und Ansätze der Nachfragetheorie in Form eines modularen Aufbaus in einer neuartigen Aufbereitung bereitgestellt worden.

Ausblick auf das Forschungsgebiet

Der mit dieser Arbeit entwickelte Ansatz zur Verkehrsnachfragemodellierung bestätigt den Nutzen einer Modellierung des Güterverkehrs unter Berücksichtigung logistischer Aspekte. Die Integration des Wissens über das logistische Verhalten von Unternehmen bietet einen Mehrwert für Verkehrsforschung und Verkehrsplanung, insbesondere bezüglich der Entstehung des Wirtschaftsverkehrs.

Der entwickelte Ansatz ist aktuell auf den Einsatz in der mikroskopischen Modellierung zur Beschreibung einzelner ausgewählter Unternehmen bezogen. Dies ermöglicht die Abbildung von Einzelunternehmen in der kleinräumigen Verkehrsmodellierung oder in nationalen Modellen – insbesondere bei Standorten, die großes Verkehrsaufkommen erzeugen oder anziehen. Unter Einbezug empirischer typenspezifischer Kenntnisse ist jedoch auch die Modellierung von Branchen mit ihren spezifischen Logistikstrategien zur Modellierung nationaler Verkehre möglich. Zur entsprechend vollständigen Nachfragemodellierung sind jedoch noch weitere Arbeiten im Bereich der (empirischen) Datenbasis notwendig. Darüber hinausgehend sind Fragen der Datenverfügbarkeit zu klären, welche die generelle Einbindung logistischer Aspekte in die Verkehrsnachfragemodellierung betreffen, bevor die Erkenntnisse in bestehende Modelle eingebunden werden können. Aufbauend auf vertiefenden empirischen Erkenntnissen, die sich auf mehrere

Branchen erstrecken, ist somit die Identifikation von (ggf. branchenunabhängigen) Typen auf der Basis der entwickelten typologischen Ordnung als Forschungsbedarf zu identifizieren. Hierzu sind auch die Merkmale der typologischen Ordnung hinsichtlich ihrer Zusammenhänge untereinander sowie bezogen auf die Verkehrsnachfrage zu untersuchen und zur Definition von Typen heranzuziehen, die primär erklärender und parametrisierender Art sind. Die Einbindung dieser Erkenntnisse zur Beschreibung und Parametrierung von synthetischen Gruppen in die Modellierung des Wirtschaftsverkehrs unter Verwendung einer am entwickelten Modellansatz angelehnten Vorgehensweise ermöglicht eine weitere Verbesserung quantitativer Erklärungsansätze.

Die Arbeit eröffnet darüber hinaus eine Reihe von neuen Forschungsperspektiven. So liegt weiterer Forschungsbedarf im Bereich der systematischen Erfassung logistischer Merkmale und deren Berücksichtigung in der Güterverkehrsmodellierung vor. Bei der Entwicklung der typologischen Ordnung haben sich Anhaltspunkte dafür ergeben, dass neben der funktionalen Sachordnung eines Unternehmens auch eine Differenzierung nach Material- und Informationsflüssen als Ordnungskriterium möglich ist. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf Materialflüsse und somit die eigentlichen Warenströme. Es kann daher noch genauer der Frage nachgegangen werden, welchen Mehrwert die Berücksichtigung von Informationsflüssen auf die Beschreibung von unternehmensbezogenen Verkehren hat. Eine ähnliche Betrachtung ist auch für den Bereich der Entsorgungslogistik möglich, der in der typologischen Ordnung als mögliches funktionales Subsystem nicht enthalten ist, sowie für den Bereich des Groß- und insbesondere des Einzelhandels, deren differenzierter Einbindung in Warenströme in der Systematik nur z. T. Rechnung getragen wird.

Hinsichtlich der Wirtschaftsverkehrsmodellierung sind aus logistischer Sicht insbesondere die differenzierte Abbildung der Routenwahl sowie die Integration von Spediteuren und Logistikdienstleistern als Akteure des Transports im Bereich der Verkehrsmittelwahl und Verkehrsumlegung als Forschungsbedarf zu identifizieren. Hierzu gehört auch die Einbindung logistischer Netze, bspw. von Speditionsnetzen, von Touren- und Routenmustern sowie von Leerfahrten in entsprechende Modelle. Einhergehend mit der differenzierten systematischen Aufbereitung des Handels ist auch der entwickelte Modellansatz entsprechend zu erweitern, um Strukturen, bspw. zwischen zwei Wirtschaftszweigen, unter Einbindung des Handels abzubilden. Darüber hinaus kann auch eine Verbesserung oder Erweiterung des entwickelten Ansatzes bezogen auf die Zielfunktion sowie die unternehmensübergreifende Modellierung von Supply Chains als weiterführende Forschungsfrage genannt werden. Hierfür müsste in weiteren Forschungsaktivitäten untersucht werden, in wie weit das Modell bspw. in ein Entscheidungsmodell umgewandelt werden kann und ob die Grundidee des Personengruppenmodells auf Branchen bzw. Typen von Unternehmen zur Abbildung von Supply Chain Konzepten anwendbar ist. Diese Überlegungen sind in dieser Arbeit nicht behandelt worden, stellen aber einen interessanten Ausgangspunkt für weitere Forschung auf diesem Gebiet dar.