

M. Becker, A. Timm-Giel: Selbststeuerung in der Transportlogistik:  
Modellierung der mobilen Kommunikation

## **Selbststeuerung in der Transportlogistik: Modellierung der mobilen Kommunikation**

Markus Becker, Andreas Timm-Giel,  
Arbeitsgruppe Kommunikationsnetze, Universität Bremen

Autoren:



Dipl.-Ing. Markus Becker ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Arbeitsbereichs Kommunikationsnetze an der Universität Bremen. Schwerpunkt seiner Arbeit ist zur Zeit die Mobilkommunikation zur Unterstützung der Selbststeuerung logistischer Prozesse.



Dr.-Ing. Andreas Timm-Giel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, Projektleiter und Lehrbeauftragter im Arbeitsbereich Kommunikationsnetze an der Universität Bremen. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in Entwicklung und Leistungsbewertung von Mobilfunksystemen (z.B. UMTS, HSDPA), Diensten und Protokollen (z.B. Ad-hoc-Netze) sowie deren Anwendung z.B. in der Logistik oder im Wearable Computing.

Kontakt:

Universität Bremen  
Arbeitsgruppe Kommunikationsnetze  
Postfach 33 04 40  
28334 Bremen  
Tel.: 0421 / 218-2287  
Fax: 0421 / 218-3601  
E-Mail: [mab@comnets.uni-bremen.de](mailto:mab@comnets.uni-bremen.de)  
URL: <http://www.comnets.uni-bremen.de>

## Zusammenfassung

Zentrale Planung und Steuerung werden durch die hohe dynamische und strukturelle Komplexität in heutigen logistischen Systemen erheblich erschwert. Um eine stärker dezentrale und autonome Steuerung zu ermöglichen, ist Kommunikation zwischen den Elementen eines logistischen Netzes zur Bereitstellung der Information zwingend erforderlich. In diesem Artikel wird die Modellierung der Kommunikation zwischen den beteiligten Komponenten beschrieben. Die Modellierung beinhaltet sowohl Quelle und Ziel der Information, als auch Datenmenge, Häufigkeit, Dienstgüte und den möglichen Zeitpunkt der Übertragung für eine sinnvolle Nutzung der Information. Unter Berücksichtigung des Modells wird die technische Realisierbarkeit mit heutigen und zukünftigen Systemen zur Kommunikation untersucht.

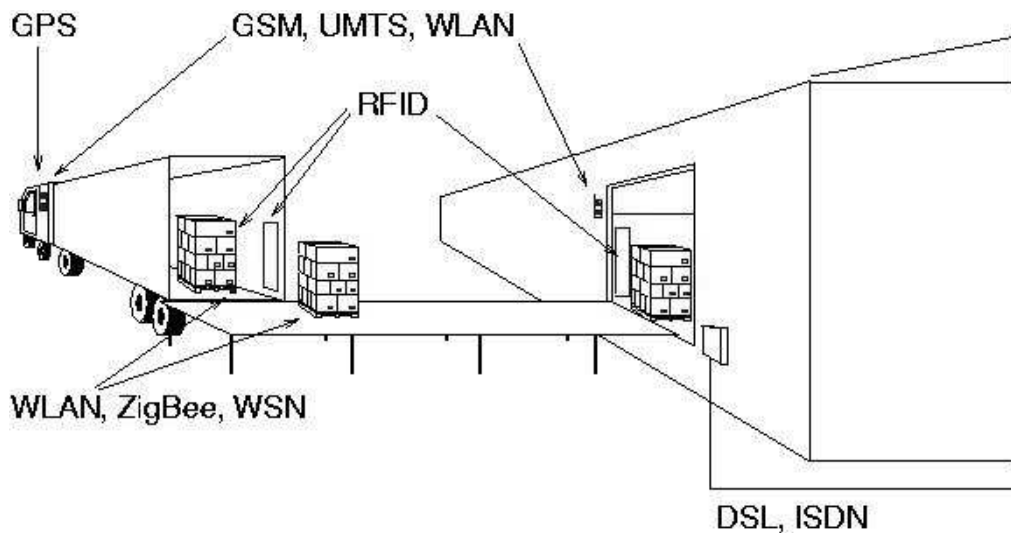
## Einleitung

Die Atomisierung der Ladung führt zu dynamischeren und komplexeren logistischen Prozessen, die zentral immer schwieriger handzuhaben sind. Abhilfe kann hier Selbststeuerung schaffen, wie sie im Sonderforschungsbereich 637 an der Universität Bremen untersucht wird, [1]. Selbststeuerung beschreibt Prozesse dezentraler Entscheidungsfindung in heterarchischen Strukturen. Sie setzt die Fähigkeit und Möglichkeit interagierender Systemelemente zum autonomen Treffen von zielorientierten, gewollten und bewussten Entscheidungen voraus. Ziel des Einsatzes von Selbststeuerung ist eine höhere Systemrobustheit durch verteilte Bewältigung von Dynamik und Komplexität nicht-deterministischer Systeme in Form von höherer Flexibilität und Autonomie der Entscheidungsfindung. Interaktion findet unter anderem durch drahtlose Kommunikation zwischen einzelnen logistischen Einheiten statt.

In der vorliegenden Veröffentlichung werden zunächst die kommunikationstechnischen Einheiten, die heute und zukünftig in der Logistik eingesetzt werden, beschrieben. Im darauf folgenden Abschnitt wird auf die Modellierung der Kommunikation in der Logistiksimulation eingegangen. Im vierten Abschnitt wird ein einfaches, simuliertes Szenario beschrieben, dessen Ergebnisse im fünften Abschnitt dargestellt sind. Die Veröffentlichung endet mit einem Abschnitt über die technische Realisierbarkeit und einem Ausblick.

## Kommunikationstechnische Einheiten in der Logistik

In der Logistik sind bereits vielfältige kommunikationstechnische Einrichtungen im Einsatz. Dazu zählen Mobiltelefone der Fahrer und Flottenmanagementmodems [2] auf Basis von GSM und UMTS, Sensorkomponenten [3] in den Transportmitteln (LKW, Container) sowie DSL- und ISDN-Anschlüsse als Festnetzanschlüsse in den Umschlagsknoten. Zusätzlich wird im Logistikbereich stark in RFID-Technologie investiert. Zunächst wird die RFID-Technologie zur Identifikation der einzelnen Güter eingesetzt. Mit fortschreitender Entwicklung der RFID-Tags können die Aufgaben erweitert werden, z.B. Speicherung des Transportverlaufs oder der erforderlichen Transportbedingungen direkt auf dem RFID oder auch Speicherung eines mobilen Agenten auf dem RFID, der Entscheidungen für das Transportgut wahrnimmt. Über die RFID-Technologie können die Transportgüter an der Kommunikation teilnehmen. Sensornetze in den Transportmitteln z.B. zur Erfassung der Transportbedingungen, wie Temperatur, Feuchtigkeit, Gase, werden eine zunehmende Anwendung finden. Drahtlose lokale Netze (sog. WLANs) sind eine der Schlüsseltechnologien, die sich an den Umschlagknoten, z.B. zur Kommunikation zwischen den Containern und dem Knoten aber auch zwischen großen Transportgütern, z.B. PKW anbieten. Ein mögliches Szenario mit den unterschiedlichen Kommunikationssystemen wird in Bild 1 verdeutlicht.



- GPS: Global Positioning System
- GSM: Global System for Mobile Communications
- UMTS: Universal Mobile Telecommunications System
- WLAN: Wireless Local Area Network
- RFID: Radio Frequency Identification
- WSN: Wireless Sensor Network
- DSL: Digital Subscriber Line
- ISDN: Integrated Services Digital Network

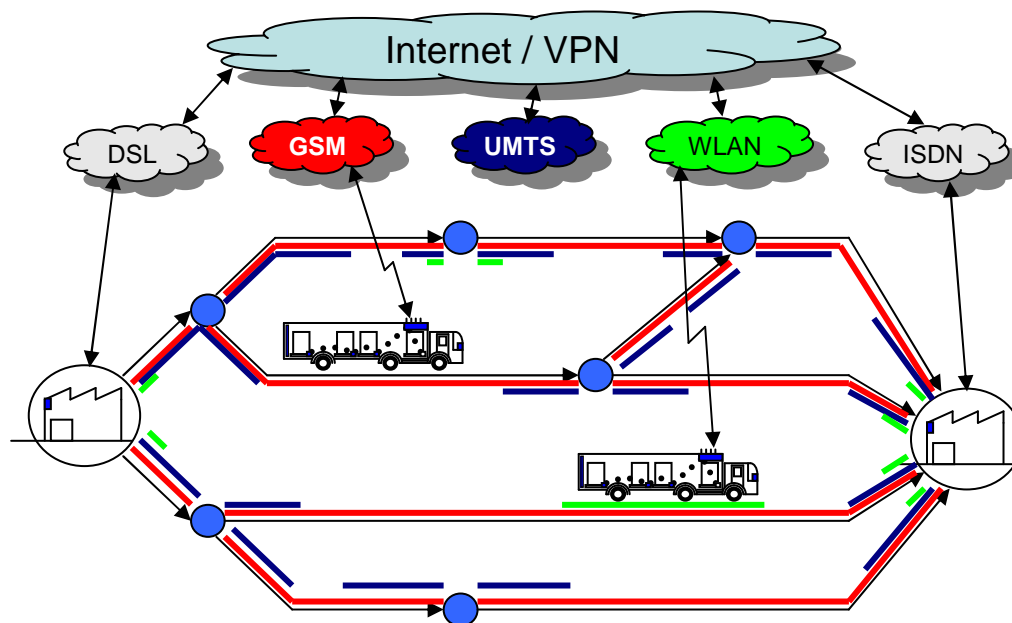
**Bild 1: Komponenten zur Kommunikation in der Logistik**

## Modellierung der kommunikationstechnischen Einheiten

In der Arbeitsgruppe der Autoren ist ein ereignis-diskreter Logistiksimulator entwickelt worden, der neben den logistischen Komponenten auch die kommunikationstechnischen Einheiten beinhaltet. Alle kommunikationstechnischen Einheiten, wie beispielsweise GSM-Telefone oder Sensornetzkomponenten, werden für die Modellierung durch eine

‚CommunicationUnit‘ zusammengefasst. Die Unterschiede zwischen den Komponenten finden Eingang in die Eigenschaften der CommunicationUnit. Die ‚CommunicationUnit‘ kann den Komponenten der generelleren logistischen Modellierung zugeordnet werden, wie dem Umschlagknoten, dem Transportmittel oder dem Transportgut, und ermöglicht diesen die Kommunikation. Die Fähigkeit zur Kommunikation kann auch zur Selbststeuerung benutzt werden.

Für die Kommunikation von besonderer Bedeutung sind dabei: die Quelle und das Ziel der Kommunikation (auch deren Positionen) und die Häufigkeit der Übertragung sowie die Datenmenge, die ausgetauscht werden soll. Ferner von Bedeutung für den nutzbringenden Einsatz in der Logistik ist die Verfügbarkeit des Kommunikationsnetzes. Die Verfügbarkeit wird durch Abdeckungsbereiche der Kanten und Knoten mit einzelnen oder mehreren Kommunikationsnetzen modelliert, siehe hierzu auch Bild 2. Die Abdeckungen sind mit Ausfallwahrscheinlichkeiten behaftet. Auf eine genauere Modellierung der Funkausbreitung wird innerhalb der Logistiksimulation verzichtet, um die Komplexität des Modells zu reduzieren. Stattdessen werden die abgedeckten Bereiche (Teile der Kanten und Knoten) in dedizierten Simulationen mit bestehenden Simulationswerkzeugen der Kommunikationstechnik bestimmt.

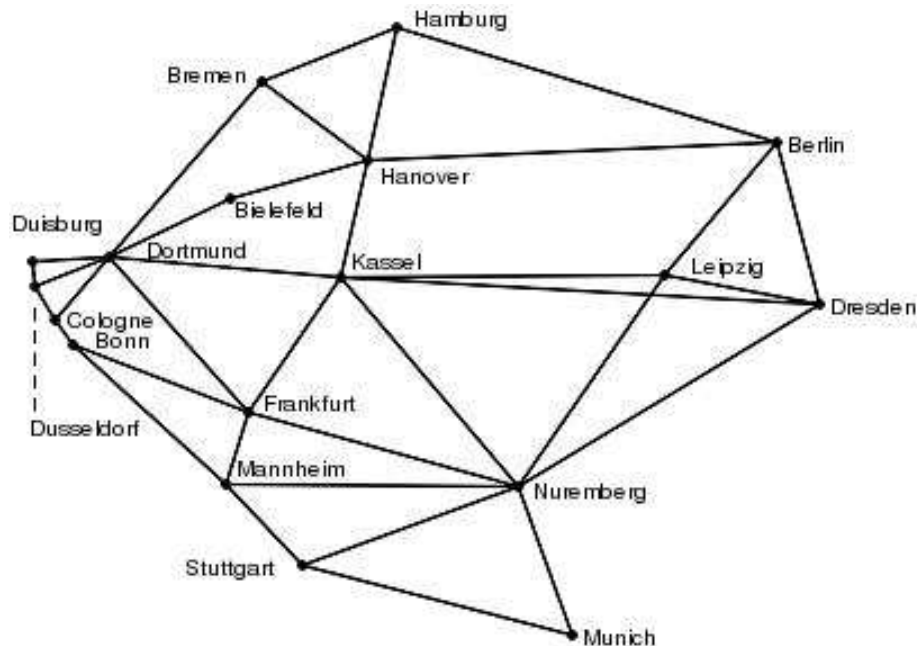


**Bild 2: Modellierung der Kommunikation in der Logistik**

### Szenariobeschreibung

Das untersuchte Szenario besteht aus den größten deutschen Städten (Knoten) verbunden durch das Autobahnnetz (Kanten), siehe Bild 3. Die Länge der Kanten entspricht den tatsächlichen Entfernungen über das Fernverkehrsnetz. Der Transportbedarf, der an den Knoten entsteht (in Quellen), sowie der initiale Transportmittelbestand am Knoten sind proportional zu der Größe der Stadt. Die Pakete einer Quelle können verschiedene Ziele haben, aber die Pakete einer Quelle besitzen dieselben Eigenschaften (zum Beispiel die gleichen Kommunikationseinheiten). Die Ziele der Transportgüter werden zu Anfang der Simulation zufällig gewählt und verändern sich während der Simulation nicht. Von jedem Knoten werden Pakete zu acht anderen Knoten verschickt. Die Transportmittel finden die Route nach einem On-Demand-Algorithmus, der dem AODV-Algorithmus [4] aus AdHoc-Kommunikationsnetzen entlehnt ist und die Beladestrategie handelt so, dass so viele Pakete wie möglich für dasselbe Ziel auf das Transportmittel geladen werden. Da die Routenfindungsstrategie im Moment nur an den Knoten ausgeführt wird, findet auch nur an den Knoten Kommunikation statt. Dies bedeutet, dass im Moment die Netzabdeckung nur für

die Knoten bestimmt sein muss. Zur Zeit wird eine ideale Kommunikation zu Grunde gelegt, um den Datenaustausch zu bestimmen.



**Bild 3 Szenario der Simulation**

Die weiteren Parameter des Szenarios können der Tabelle 1 entnommen werden.

Parameter	Wert	Einheit
Anzahl Knoten	18	Stück
Anzahl Kanten	69	Stück
Quellen/Knoten	2	Stück
Ziele/Quelle	4	Stück
Transportkapazität/Transportmittel	60	Pakete
Transportgeschwindigkeit	120	km/Zeiteinheit
Transportbedarfsgenerierungsrate/Quelle	17...1	Pakete/Zeiteinheit
Anzahl Transportmittel	71	Stück

**Tabelle 1 Simulationsparameter**

### Simulative Ergebnisse

Dieses Szenario und das zu Grunde liegende Modell wurden mit Hilfe eines auf der 'Communication Networks Class Library' [5] aufbauenden Simulators simuliert. Dabei wurde sowohl die Kommunikationshäufigkeit als auch die Kommunikationsmenge aufgezeichnet, die für den verwendeten Steueralgorithmus notwendig sind. Kommuniziert werden für den verwendeten Algorithmus:

- das Abfragen und Setzen des Ziels eines Fahrzeugs
- das Abfragen des Ziels eines Paketes
- der Routenfindungsinformationsaustausch zwischen den Knoten

Tabelle 2 liefert die Ergebnisse der Simulation basierend auf den Parametern aus Tabelle 1. Auf den ersten Blick erscheinen die absolute Kommunikationshäufigkeit und

Kommunikationsmenge sehr hoch, zu bedenken ist jedoch, dass zum einen ein langer Zeitraum von knapp 30000 Zeiteinheiten simuliert worden ist, als auch eine hohe Zahl an Paketen ihr Ziel erreicht haben. Berechnet man die durchschnittliche Kommunikationsmenge pro Kommunikationsvorgang erhält man die niedrige Netto-Datenmenge von ca. 5 byte, ohne Berücksichtigung von Zusatzinformation durch Adressen und Fehlersicherung der jeweiligen Kommunikationsnetze. Bei einer durchschnittlichen Kommunikationshäufigkeit pro Kommunikationseinheit von ca. 42 ergibt sich eine durchschnittliche Netto-Kommunikationsmenge von rund 200 byte.

Aus den Simulationsergebnissen geht hervor, dass der Hauptteil der Kommunikation für den On-Demand-Algorithmus das Abfragen der Ziele der Pakete ist, sowohl, was die Häufigkeit angeht, als auch bezüglich der Datenmenge. Ferner kann man beobachten, dass die durchschnittliche Datenmenge, die von Knoten abgefragt wird, deutlich höher liegt, als die, die von Paketen und Transportmitteln, abgefragt wird. Dies liegt direkt im Routing-Algorithmus begründet, der mit Paketen und Transportmitteln nur einzelne Integer-Werte kommuniziert, während mit Knoten Listen von Integer-Werten, genauer eine Liste der Kanten in der Strecke für die eine Route gesucht wurde, kommuniziert werden.

Parameter	Wert	Einheit
Absolute Kommunikationshäufigkeit	213.352.114	
Kommunikationsmenge	962.518.244	byte
Durchschnittliche Kommunikationsmenge pro Kommunikationsvorgang	4,5114	byte
Zeit	29.429	Zeiteinheiten
Gesamtzahl Pakete	~5.000.000	
Durchschnittliche Kommunikationsmenge pro Kommunikationseinheit	192,5036	byte
Durchschnittliche Kommunikationshäufigkeit pro Kommunikationseinheit	42,6704	
Kommunikationsziel Knoten Kommunikationsmenge	161.848.264	byte
Kommunikationsziel Knoten Kommunikationshäufigkeit	13.184.619	
Kommunikationsziel Knoten Durchschnittliche Kommunikationsmenge pro Kommunikationsvorgang	12,2755	byte
Kommunikationsziel Transportmittel Kommunikationsmenge	5.280.316	byte
Kommunikationsziel Transportmittel Kommunikationshäufigkeit	1.320.079	
Kommunikationsziel Transportmittel Durchschnittliche Kommunikationsmenge pro Kommunikationsvorgang	4,0000	byte
Kommunikationsziel Paket Kommunikationsmenge	795.389.664	byte
Kommunikationsziel Paket Kommunikationshäufigkeit	198.847.416	
Kommunikationsziel Paket Durchschnittliche Kommunikationsmenge pro Kommunikationsvorgang	4,0000	byte

**Tabelle 2 Simulationsergebnisse**



## Technische Realisierbarkeit

Die simulativ für den On-demand-Algorithmus gefundenen Ergebnisse legen nahe, dass eine händische Verarbeitung der Transportgüter und Transportmittel per Lieferschein oder Barcode nicht wirtschaftlich betrieben werden kann, da pro Transportgut rund 42 Datenaustausche notwendig sind. Mit aktiven Kommunikationsgeräten wären sowohl die ausgetauschten Datenmengen als auch die Übertragungszeiten für dieses und kommunikationsintensivere Protokolle in einem vertretbaren Rahmen möglich. Aktive Kommunikationseinheiten können beispielsweise Bordrechner mit Kommunikationsschnittstelle auf Transportmitteln oder Sensorknoten, beziehungsweise RFID-Tags der Zukunft, auf den Transportgütern sein.

## Ausblick

In Zukunft soll die Netzabdeckung auf den Kanten benutzt werden, um auch Routen- und Beladestrategien, die während der Fahrt kommunizieren, zu untersuchen. Hierfür müssen die Ergebnisse spezieller Simulatoren für Kommunikationsnetze und Abdeckungskarten in die Szenarien eingebunden werden. Es ist geplant, die Steueralgorithmen in Anlehnung an die Kommunikationsnetze weiter zu verfeinern und auf diesen Simulator zu portieren und zu vergleichen. Der Einfluss der Benutzung verschiedener Kommunikationsnetze und die Auswirkung von Ausfällen der Kommunikation auf die logistischen Kennzahlen ist ein weiteres Ziel, das mit diesem Werkzeug untersucht werden soll. Entscheidend für den Einsatz in der Logistik sind unter anderem auch die durch die Kommunikation entstehenden Kosten, weshalb diese in Abhängigkeit von den benutzten Kommunikationsnetzen und Steueralgorithmen untersucht werden sollen.

## Literatur

- [1] Freitag, M.; Herzog, O.; Scholz-Reiter, B.: Selbststeuerung logistischer Prozesse – Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen. In: Industrie Management, 20(2004)1, GITO, Berlin, 2004, S. 23-27.
- [2] Siek, K., Erkens, E., Kopfer, H.: Anforderungen an Systeme zur Fahrzeugkommunikation im Straßengüterverkehr. In: Logistik Management, 5(2), 2003, pp.37.
- [3] Riem-Vis, R: Cold Chain Management using an Ultra Low Power Wireless Sensor Network. In WAMES 2004, Boston, USA, Juni 2004.
- [4] Perkins, C. E.: Ad Hoc Networking, Addison-Wesley 2001. ISBN 0-201-30976-9.
- [5] N.N.: Communication Networks Class Library (CNCL), URL: <http://www.comnets.uni-bremen.de/docs/cncl/index.html>, Abrufdatum: 24.05.2005.

## Schlüsselwörter:

Selbststeuerung, Kommunikation, Modellierung, Simulation, Logistik

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 637 'Selbststeuerung in der Logistik – Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen' finanziert durch die Deutsche Forschungsgesellschaft an der Universität Bremen.

## Autonomous Control in Transport Logistics: Modelling Communication

High dynamics and structural complexity in current and future logistic systems are complicating central planning and control. For enabling a more decentralised and autonomous control, communication between the elements of the logistical network are necessary for the provisioning of the information needed. This article details the modelling of the communication between the components. This modelling contains source and sink of the

information as well as the amount of data, frequency of transmission, quality of service and the moment of transmission for a reasonable usage of the information. The technical feasibility with current and upcoming communication systems is evaluated under consideration of the model.

**Keywords:**

Autonomous Control, Communication, Modelling, Simulation, Logistic