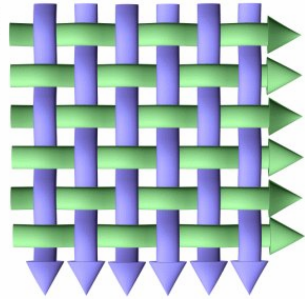


Sonderforschungsbereich 559

**Modellierung großer  
Netze in der Logistik**



Technical Report 05007

ISSN 1612-1376

**Festlegung der Abfahrts- und Ankunftszeiten  
(Fahrplangestaltung)**

Teilprojekt A7:

Prof. Dr. Hans-Werner Graf

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik

Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4

44227 Dortmund

Dortmund, 20. Oktober 2005

# Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung .....3
- 2 Problembeschreibung.....3
- 3 Beschreibung des Verfahrens.....4
- 4 Vergleich der Verfahren .....6
- 5 Einordnung der Ergebnisse .....8
- 6 Zusammenfassung und Ausblick .....8
- Literatur .....9

# 1 Einleitung

Für die Optimierung der Hub-Auswahl und der Depot-Hub-Zuordnung bei Servicenetzen wurde in der Kooperation der Teilprojekte *A7 – Servicenetze* und *M8 – Optimierung* des SFB 559 ein rechnergestütztes Bewertungsmodell entwickelt und implementiert, das auf einer praxisrelevanten Erweiterung der in der Literatur als p-hub-Problem bezeichneten Optimierungsaufgabe basiert. In diesem erweiterten Modell wird die Optimierung der Hub-Standorte, Hub-Anzahl und der Netzstruktur unter Berücksichtigung der konkurrierenden Zielsetzungen Servicegrad und Kosten betrachtet [Gra00, VHe02, HRe03b].

Sowohl die Berechnung des Servicegrades als auch die Berechnung der Kosten setzt eine detaillierte Betrachtung der zeitlichen Abläufe der Transporte in dem betrachteten Servicenetz voraus. Die Abbildung kann also nicht, wie in dem in der Literatur beschriebenen p-hub-Modell (siehe z.B. [Kel86, Kli91]), einfach auf die gewichtete Transportentfernung zwischen Hubs und Depots reduziert werden.

Der naheliegende Ansatz, die einzelnen Relationen mit einer einheitlichen Fahrzeit zu bewerten und aus dieser Fahrzeit den Servicegrad des Netzes zu ermitteln, wurde zur Erhöhung der Praxistauglichkeit verworfen und statt dessen ein Verfahren realisiert, welches eine detaillierte Abbildung der einzelnen Transporte ermöglicht.

Durch diese detailliertere Abbildung ist es möglich, einen konkreten Fahrplan für ein Transportnetz zu errechnen und dabei Effekte zu berücksichtigen, die sich unter anderem durch die begrenzte Transportkapazität der eingesetzten Verkehrsmittel sowie durch deren eventuell unterschiedliche Durchschnittsgeschwindigkeit bei der Transportdurchführung ergeben.

Die Art der Abbildung erfordert allerdings eine Reihe von Detailfestlegungen und Modellierungen, die in der klassischen Betrachtung nicht vorkommen. Eine der konkret anzugehenden Fragestellungen ist die Festlegung der Abfahrts- und Ankunftszeiten der einzelnen Verkehrsmittel in dem errechneten Transportnetz. Diese Fragestellung ist ein Detailproblem der sogenannten Fahrplangestaltung.

## 2 Problembeschreibung

Zur Abbildung des Transportnetzes in einem Rechnermodell wurde im Rahmen des SFB 559 ein Modell entwickelt, welches aus den beiden Elementarbausteinen "Strecken" und "Verkehrsmitteln" besteht. Diese sind wiederum durch mehrere Attribute gekennzeichnet, die im Folgenden in Klammern gesetzt sind:

- Strecken (ID [=eindeutige Kennzeichnung], Start-Geo-ID, Ziel-Geo-ID, Streckenlänge, Startzeit, Verkehrsmittel, Transportdauer, Transportmenge 1, 2, 3)
- Verkehrsmittel (ID, Geschwindigkeit, Kapazität 1, 2, 3)

Eine ausführliche Abhandlung hierzu findet sich in der Dissertation von Graf [Gra00].

Ein abgeleitetes elementares Objekt ist die Linie A-C, die definiert wird als die Komposition von Strecken A-B und B-C mit den Randbedingungen

- Ziel-Geo-ID (A-B) = Start-Geo-ID (B-C)
- Ankunftszeit (A-B) + Umschlagzeit (B)  $\leq$  Startzeit (B-C).

In diesem Modell werden also einzelne Relationen mit einem Verkehrsmittel und einer bestimmten Abfahrtszeit verknüpft.

Die generelle Zielsetzung der Netzoptimierung besteht darin, ein servicegrad- und kostenoptimales Netz zu generieren. Die genaue Berechnung der Qualitätskennzahl „Netzqualität“ ist in dem internen Bericht zum SFB 559 [Hei00] beschrieben. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die einzelnen Relationen möglichst früh abfahren, allerdings muss bei Umschlagstandorten auf später eintreffende Verkehre gewartet werden, bis ein Verkehr zu einem Zieldepot abfahren kann. Hier ist bei Relationen, die dadurch das vorgegebene Zeitfenster überschreiten, zu entscheiden, ob vorzeitige Abfahrten durchgeführt werden sollen, damit das Zeitfenster zumindest für einen Teil der Sendungen eingehalten werden kann. Dies erfordert zusätzliche Transporte und erhöht somit die Transportkosten des Netzes.

Eine weitere Entscheidung betrifft die Frage, auf welchen Strecken welcher Fahrzeugtyp eingesetzt werden soll. Dem Modell liegt die Annahme zu Grunde, dass unterschiedlich schnelle Verkehrsmittel eingesetzt werden können, wobei als generelle Charakteristik gilt, dass langsamere Verkehrsmittel ein größeres Transportvolumen besitzen und dadurch pro Sendung günstigere Transportkosten realisieren können. Dem entsprechend besteht die Möglichkeit, Relationen durch teure schnelle oder günstige, aber langsame Verkehrsmittel bedienen zu lassen. Dies hat einen erheblichen Einfluss auf die Abfahrtszeiten der von einer Relation abhängigen Verkehre.

### **3 Beschreibung des Verfahrens**

Die klassische Beschreibungsweise von Transportnetzen, die in dem p-Hub-Problem formuliert wird, kommt ohne eine Abbildung der Transportzeiten aus. Es wird dort unterstellt, dass alle Verkehre einer Relation gebündelt transportiert werden können. Hieraus lässt sich eine einfache Festlegung der Abfahrts- und Ankunftszeiten ableiten, indem für jeden Hub der längste Vorlauf und Nachlauf ermittelt wird. Darüber hinaus wird für die Verbindung der Hubs untereinander die längste Strecke zur Bildung der Abfahrtszeiten herangezogen. Werden zusätzlich für den Umschlag in den Hubs vorgegebene Zeiten berücksichtigt, kann man die Abfahrts- und Ankunftszeiten der einzelnen Transportrelationen leicht ermitteln. Diese Idee lässt sich noch weiter verfeinern, indem die maximalen Vorlauf-, Hauptlauf- und Nachlaufzeiten für jeden Hub separat betrachtet werden. Da diese Zeiten sich aus der Transportdauer für den längsten Transportweg ableiten, soll diese Festlegung als Maximum-Zeitplanung bezeichnet werden.

Das im SFB 559 entwickelte Modell für Transportnetze enthält eine sehr viel detailliertere und damit praxisnähere Abbildung der Abfahrts- und Ankunftszeiten, die wir im Folgenden mit dem Namen Zeitfenster-Zeitplanung kennzeichnen wollen.

Die Eckpunkte für die Festlegung der Abfahrtszeiten bilden die Abfahrts- und Zielankunftszeiten der Depots. Diese sind als Zeitfenster vorgegeben, welches bei jedem Depot individuell eingestellt werden kann. Um einen möglichst hohen Servicegrad zu erreichen, werden die ausgehenden Verkehre jedes Depots zu dem frühestmöglichen Zeitpunkt eingeplant und mit dem schnellsten Verkehrsmittel durchgeführt. Daraus ergeben sich die Ankunftszeiten bei den Hubs. Zur Festlegung der Abfahrtszeiten ab den Hubs muss zunächst die Umschlagzeit zwischen den Transporten berücksichtigt werden. Diese wird als konstante Mindestumschlagzeit netzweit einheitlich festgelegt. Weiterhin wird versucht, alle von einem Hub zum gleichen Ziel ausgehenden Verkehre zu bündeln, um möglichst niedrige Transportkosten zu erreichen.

Hierzu ist es erforderlich, dass ein ausgehender Verkehr so lange wartet, bis der letzte eingehende Verkehr mit Sendungen für diesen ausgehenden Verkehr im Hub eingetroffen ist, zuzüglich der erforderlichen Umschlagzeit.

Bei einer festen Netzstruktur, wie sie durch ein zweistufiges Transportnetz gegeben ist, könnten die Abfahrtszeiten prinzipiell dadurch ermittelt werden, dass erst alle Verkehre ab einem Depot eingeplant werden, in einem zweiten Schritt alle Verkehre von einem Abgangshub zu einem Zielhub und im letzten Schritt alle Verkehre von jedem Zielhub zu den Zieldepots. Das bei der Abbildung angewendete Verfahren wurde jedoch allgemeiner gehalten, um auch Netze mit anderer Grundstruktur mit dem gleichen Verfahren abbilden zu können.

Das Grundprinzip der Abbildung basiert darauf, dass alle Depot-Depot-Relationen sukzessive geplant werden. Für eine Relation zwischen zwei Depots A und B ergibt sich die Route durch die Struktur des Netzes. Sei H der Hub, dem das Depot A zugeordnet ist, und G der Hub, dem das Depot B zugeordnet ist, so ergibt für den Transport von A nach B die Route A-H-G-B, die sich aus den Einzelstrecken A-H, H-G und G-B zusammensetzt. Der Verkehr A-H wird nun mit der Startzeit des Depots A (=Startzeit(A)) eingeplant. Die frühestmögliche Abfahrtszeit für den Verkehr H-G ergibt sich aus  $\text{Startzeit(A)} + \text{Fahrzeit(A-H)} + \text{Umschlagzeit(H)}$ .

Existiert nun ein Verkehr H-G, so wird geprüft, ob die Ankunftszeit in G ausreicht, um den abschließenden Verkehr G-B zeitgerecht durchzuführen. Falls also  $\text{Startzeit(H-G)} + \text{Fahrzeit(H-G)} + \text{Umschlagzeit(G)} + \text{Fahrzeit(G-B)} \leq \text{Zielankunftszeit(B)}$ , so wird der Transport H-G für die Relation A-B mit dem bestehenden Transport H-G kombiniert. Gilt die oben aufgeführte Ungleichung jedoch nicht, so muss ein neuer, zweiter Verkehr zwischen H und G eingeplant werden – vorausgesetzt, dass sich die Ungleichung prinzipiell erfüllen lässt, dass also die Ungleichung:

$$\begin{aligned} &\text{Startzeit(A)} + \text{Fahrzeit(A-H)} + \text{Umschlagzeit(H)} + \text{Fahrzeit(H-G)} \\ &+ \text{Umschlagzeit(G)} + \text{Fahrzeit(G-B)} \leq \text{Zielankunft(B)} \end{aligned}$$

gilt.

Damit die Verkehre kombiniert werden können, muss natürlich ebenfalls gelten, dass die Abfahrtszeit von H-G für die Relation A-B erreichbar ist, dass also  $\text{Startzeit(A)} + \text{Fahrzeit(A-H)} + \text{Umschlagzeit(H)} \leq \text{Startzeit(H-G)}$  ist. Ist dies nicht der Fall, wird jedoch nicht sofort ein neuer Transport zwischen H und G eingeplant, sondern zunächst untersucht, ob der Transport H-G nicht auch später losfahren kann, ohne die Zielankunftszeiten zu überschreiten. Zu diesem Zweck wird bei jedem Transport eine Information abgelegt, um wie viele Minuten der Transport auch später ausgeführt werden könnte, ohne die Zeitschranken zu verletzen. Diese Information wird als Schlupf bezeichnet. Dieser Schlupf kann dadurch zustande kommen, dass die nachfolgenden Verkehre auf andere Relationen warten müssen oder dass die Ankunft beim Zieldepot vor der Zielankunftszeit liegt. Sind alle Relationen eingeplant, so kann der Schlupf der Transporte genutzt werden, um festzustellen, ob auch spätere Abfahrtszeiten möglich sind, ohne den Servicegrad zu verschlechtern. Für reale Transportnetze bedeuten spätere Abfahrten, dass die Abholung der Sendungen beim Kunden zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen kann. Dadurch lassen sich zusätzliche Sendungsmengen erschließen. Eine andere Möglichkeit, den Schlupf zu nutzen, besteht darin, langsamere, aber günstigere Verkehrsmittel (oder Verkehrsträger, wenn für die Relation verfügbar) zu verwenden.

Der zweite Aspekt wird in der Abbildung der Transportnetze systematisch genutzt, weil sich durch diesen Effekt die Kosten des Netzes senken lassen und dadurch eine

bessere Bewertungskennziffer für ein gegebenes Transportnetz entsteht. Nach jeder Netzoptimierung wird ein sogenanntes "Downscaling" durchgeführt. Dabei werden alle Transporte untersucht, bei denen auf Grund des Sendungsaufkommens mehr als ein Verkehrsmittel benötigt wird. Besitzen diese Transporte einen positiven Schlupf, so wird geprüft, ob dieser Schlupf ausreicht, um ein langsamerer Verkehrsmittel einzusetzen. Um zu einem Kostenminimum zu gelangen, ist die Idee naheliegend, die Umsetzung der Verkehrsmittel nicht sequentiell, sondern nach absteigender Kostenersparnis durchzuführen, da bei der Ersetzung der schnellen durch langsame Verkehrsmittel die nachfolgenden Relationen eventuell mit einer späteren Abfahrtszeit durchgeführt werden müssen. Dadurch reduziert sich deren Schlupf, so dass für diese nachfolgenden Relationen anschließend keine Umstellung auf langsamere Verkehrsmittel mehr möglich ist. Die Umsetzung nach absteigender Kostenersparnis ist jedoch sehr rechenzeitintensiv, und Testläufe an konkreten Netzen zeigen, dass die Unterschiede in der realisierbaren Einsparung gegenüber einem sequentiellen Durchlauf gering sind, bei dem eine Umsetzung immer dann durchgeführt wird, wenn sie auf Grund des Schlupfes möglich ist.

#### **4 Vergleich der Verfahren**

Um die Auswirkung der zeitlichen Abbildung auf die Ergebnisnetze beurteilen zu können, wurden verschiedene Szenarien gerechnet, in denen ein Vergleich zwischen der Maximum-Zeitplanung und der Zeitfenster-Zeitplanung durchgeführt wurde. Bei diesen Netzen wurde die gleiche Netzstruktur zu Grunde gelegt, so dass für die Depot-Depot-Relationen bei beiden Netzen jeweils die gleichen Routen verwendet werden. Bei der Maximum-Zeitplanung wurde so verfahren, dass zunächst für alle Relationen die schnellsten Verkehrsmittel eingesetzt wurden. Anschließend wurde das bei der Zeitfenster-Zeitplanung beschriebene Verfahren des Downscaling angewendet, um die schnellen, aber teuren Verkehrsmittel durch langsame, kostengünstige zu ersetzen, wo dies möglich ist.

Trotzdem ergeben sich auch unterschiedliche Bewertungskennzahlen für die Netze mit Zeitfenster-Zeitplanung im Vergleich zu den Netzen mit Maximum-Zeitplanung. Diese Unterschiede kommen dadurch zustande, dass bei der Zeitfenster-Zeitplanung ein Teil der Transporte zeitlich gestaffelt durchgeführt wird. Dies führt auf der einen Seite zu Mehrtransporten gegenüber der Maximum-Zeitplanung, die kostenmäßig ins Gewicht fallen, führt aber auf der anderen Seite zu einem besseren Servicegrad, da dadurch ein größerer Teil der Sendungen zeitgerecht im Ziel eintrifft.

Ein weiterer Unterschied ergibt sich durch das Downscaling. Bei der Maximum-Zeitplanung wird das Zeitverhalten stark von der Transportrelation zwischen den am weitesten auseinander liegenden Hubs bestimmt. Dies führt dazu, dass zwischen den Hubs sehr oft ein Downscaling möglich ist. Durch die späte Zeitlage können aber Transporte zwischen Hub und Zieldepots nur selten durch langsamere Verkehrsmittel durchgeführt werden. Da bei der Zeitfenster-Zeitabbildung die Transporte differenzierter mit Zeiten belegt werden, ergibt sich ein nicht so einheitliches Bild. Die Unterschiede werden jedoch stark durch die Größe des Zeitfensters bestimmt. Gibt es Relationen, die auf Grund der Transportzeiten die Zeitrestriktionen verletzen, so werden zusätzliche Transporte eingeplant.

Es lassen sich drei grundsätzliche Kategorien unterscheiden, die durch die Größe des zur Verfügung stehenden Zeitfensters bestimmt werden:

1. *Weit*: Das Zeitfenster ist groß genug, um alle Transporte mit dem langsamsten Verkehrsmittel durchführen zu können.

In diesem Fall erzielen die beiden Verfahren die gleichen Qualitätswerte. Die Bewertung basiert letztlich auf der Bündelung der Transportmengen zwischen den Hubstandorten, die bei beiden Verfahren gleich ist.

2. *Mittel*: Das Zeitfenster ist groß genug, um alle Transporte mit dem schnellsten Verkehrsmittel ohne Verletzung der Zeitschranken durchführen zu können.

Bei dieser Konstellation ergibt die Zeitfenster-Zeitplanung in jedem Fall eine Lösung ohne Strafkosten, während bei der Maximum-Zeitplanung keine Rücksicht auf die Zeitfenster genommen wird. Daraus folgt in der Regel, dass bei der Maximum-Zeitplanung Zeitüberschreitungen entstehen, die mit Strafkosten bewertet werden.

3. *Eng*: Das Zeitfenster ist so eng, dass einige Relationen in jedem Fall die Zeitschranken verletzen.

In diesem Fall kann auch unter Verwendung der Zeitfenster-Zeitplanung kein Ergebnis ohne Strafkosten erzielt werden. Wie man in Tabelle 1 sehen kann, sind die erzielten Ergebnisse jedoch deutlich besser als bei der Maximum-Zeitplanung, da die Relationen differenziert behandelt werden, und durch mehrere Teilabfahrten bei den Hub-Standorten jedenfalls ein großer Teil der Relationen pünktlich abgewickelt werden kann. Dies wird aber durch teilweise nicht unerhebliche Mehrkosten beim Transport erkauft; so ergibt sich bei der Berechnung für das 84-Depot-Netz eine Transportkostensteigerung von 172%.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt:

Netz (Anz. Depots)		Qualität und Kosten der Ergebnisnetze						
		Zeitfenster		Maximum-Zeitplanung			Zeitfenster-Zeitplanung	
	Typ	Zeit [h]	Kennzahl	Kosten	Strafkosten	Kennzahl	Kosten	Strafkosten
29	Eng	9,5	<b>0,132</b>	25.880	15.108.575	<b>18,847</b>	47.038	12.044
29	Mittel	12,25	<b>0,272</b>	25.997	7.290.282	<b>27,513</b>	36.346	0
29	Weit	17	<b>40,054</b>	24.966	0	<b>40,054</b>	24.966	0
84	Eng	9,5	<b>0,040</b>	40.487	49.492.333	<b>6,630</b>	110.379	80.898
84	Mittel	12,25	<b>0,140</b>	43.490	14.181.555	<b>13,043</b>	76.671	0
84	Weit	17	<b>25,242</b>	39.617	0	<b>25,242</b>	39.617	0

Tabelle 1: Ergebnisse der Vergleichsberechnung. Größere Kennzahlen bedeuten bessere Ergebnisse.

Der Ergebnistabelle ist zu entnehmen, dass die Transportkosten bei der Maximum-Zeitplanung für eine gegebene Depotanzahl variieren. Dies liegt daran, dass auch bei Maximum-Zeitplanung die Hub-Konfiguration gewählt wurde, die die geringsten Gesamtkosten erzeugt, bei der also die Strafkosten minimiert werden.

## 5 Einordnung der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass eine detaillierte Betrachtung der Zeitfenster erforderlich ist, um realistische Transportnetze abbilden zu können. Die einfache Methode der Maximum-Zeitplanung führt zu schlechten Servicegraden, wenn realistische Zeitfensterbeschränkungen vorliegen. Dies ist nicht übermäßig überraschend, da die klassische Betrachtungsweise sich auf die Betrachtung der Transportkosten beschränkt. Bei realen Transportnetzen kann jedoch auf eine Betrachtung und Beachtung der Servicezeiten nicht verzichtet werden, da die Transporte in vor- und nachgelagerte Prozesse eingebunden sind, die einen festen Zeitrahmen für die Transportdurchführung vorgeben. Darüber hinaus sind für weitere Planungsschritte bei der Gestaltung des Transportnetzes sowie bei der taktischen und operativen Planung der Transportdurchführung konkrete Zeitangaben für die einzelnen Transporte notwendig. Die hier vorgestellte Methode der Zeitfenster-Zeitplanung führt zu realistischen Zeitplanungen unter Beachtung des Servicegrades. Die Einhaltung der Zeitfenstervorgaben muss allerdings mit höheren Transportkosten erkaufte werden, so dass für praktische Anwendungen eine Abwägung zwischen Kosten und erreichbarem Servicegrad vorgenommen werden muss. Ein Vorteil der hier beschriebenen Vorgehensweise ist die Möglichkeit, den Zeitschlupf - d. h. also den zeitlichen Spielraum – der einzelnen Relationen ausweisen zu können. Hierüber ist es möglich, gezielt die zeitkritischen Relationen zu erkennen sowie mögliche Spielräume für spätere Abfahrten oder längere Sortierprozesse zu erkennen. Über eine depotspezifische Vorgabe der frühesten Abfahrtszeitpunkte und der Zielankunftszeiten bei dem Depot ist darüber hinaus eine Differenzierung des Servicegrades nach regionalen Gesichtspunkten möglich.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Zur Festlegung der Abfahrts- und Ankunftszeiten bei der Transportnetzplanung ist eine erheblich differenziertere Betrachtungsweise erforderlich als bei dem klassischen p-Hub-Optimierungsproblem, bei dem die Betrachtung alleine auf die Kosten reduziert wird. Im Rahmen des SFB 559 wurde eine praxiserorientierte Abbildung entwickelt, mit der sich konkrete Abfahrts- und Ankunftszeiten für die einzelnen Transportrelationen ergeben. Das Besondere an dieser Abbildung ist, dass der Servicegrad bei der Planung mit berücksichtigt wird und durch konkrete Maßnahmen bei der Fahrplangestaltung, insbesondere durch Mehrfachabfahrten bei den Hub-Standorten, beeinflusst werden kann.

Diese konkrete Planung und Festlegung der Abfahrts- und Ankunftszeiten bildet die Basis für weitergehende Planungen der Transportnetze, z. B. für die Fahrzeugumlaufplanung, für die Berechnung der Beanspruchung der Sortieranlagen oder für die Einbeziehung multimodaler Transporte unter Nutzung von Verkehrsmitteln, die fahrplangebunden eingesetzt werden.



## Literatur

- [Gra00] Graf, H.-W.: Netzstrukturplanung – Ein Ansatz zur Optimierung von Transportnetzen. Dissertation, Universität Dortmund, Fakultät Maschinenbau, Verlag Praxiswissen, Dortmund, 2000, ISBN: 3-932775-49-X.
- [Hei00] Heinrichmeyer, H.: Interner SFB-Bericht: Kennzahlen für die Beschreibung von Servicenetzen. Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“, 2000.
- [Kel86] O’Kelly, M. E.: The Location of Interacting Hub Facilities. In: Transportation Science 20 (1986) 2, S. 92-106.
- [Kli91] Klincewicz, J.G.: Heuristics for the p-hub location problem, European Journal of Operational Research, Vol.53, No.1, 1991, S. 25-37.
- [VHe02] Vastag, A.; Heinrichmeyer, H.: Planung komplexer Transportnetze im Spannungsfeld zwischen Kosten und Servicequalität. In: Logistik Management 1 (2002) 4, S. 51-57.

# Sonderforschungsbereich 559

## Bisher erschienene Technical Reports

- 03021 Michael Kaczmarek: Beschreibung ausgewählter Strategien zur Steuerung der Austauschprozesse in der Supply Chain
- 03022 Michael Kaczmarek: Organisation der Planung und Steuerung in Supply Chains
- 03024 Anne Schulze im Hove, Frank Stüllenberg, Stefan Weidt: Inhaltliche Ausgestaltung der Netzwerk-Balanced-Scorecard für Beschaffungsketten
- 03029 Hilmar Heinrichmeyer, Andreas Reinholz: Entwicklung eines Bewertungsmodells für die Depotstandortoptimierung bei Servicenetzen
- 03032 Marco Motta, Iwo Riha, Stefan Weidt: Simulation eines Regionallagerkonzeptes
- 03034 Frank Laakmann, Iwo Riha, Niklas Stracke, Stefan Weidt: Workbenchgestützte Konstruktion von Beschaffungsketten
- 03035 Iwo Riha, Stefan Weidt: Entwicklung einer Bewertungssystematik für Beschaffungsketten
- 04001 André Alberti, Bernd Hellingrath, Stefan Weidt, Markus Witthaut: Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Simulationsexperimente im Szenario Automobilindustrie
- 04002 Kay Hömberg, Dirk Jodin, Maren Leppin: Methoden der Informations- und Datenerhebung
- 04003 Carsten Tepper: Prozessablauf-Visualisierung von ProC/B-Modellen
- 05001 Jochen Bernhard, Miroslav Dragan, Sigrid Wenzel: Evaluation und Erweiterung der Kriterien zur Klassifizierung von Visualisierungsverfahren für GNL
- 05002 Entwicklung eines Analyse Rahmens für die Untersuchung organisatorischer Aspekte in der Supply Chain
- 05003 Einsatz der Response Surface Methode zur Optimierung komplexer Simulationsmodelle
- 05004 Automatisierte Methoden und Systeme der Datenerhebung
- 05005 Kriterien für die Kategorisierung statistischer Methoden im Rahmen eines Methodennutzungsmodells zur Informationsgewinnung in GNL
- 05006 Konzept einer logistischen Informationsbedarfsanalyse mit Hilfe von Basisprozessen und standardisierten Logistikdaten
- 05007 Festlegung der Abfahrts- und Ankunftszeiten (Fahrplangestaltung)

Alle Technical Reports können im Internet unter  
<http://www.sfb559.uni-dortmund.de/>  
abgerufen werden. Für eine Druckversion wenden Sie  
sich bitte an die SFB-Geschäftsstelle  
e-mail: grosseca@iml.fhg.de