

2009

LINIENVERKEHRSPLANUNG FÜR KEP- DIENSTE

Thomas Bednarczyk
Helmut-Schmidt-Universität Hamburg

Andreas Fink
Helmut-Schmidt-Universität Hamburg

Follow this and additional works at: <http://aisel.aisnet.org/wi2009>

Recommended Citation

Bednarczyk, Thomas and Fink, Andreas, "LINIENVERKEHRSPLANUNG FÜR KEP-DIENSTE" (2009). *Wirtschaftsinformatik Proceedings 2009*. 90.
<http://aisel.aisnet.org/wi2009/90>

This material is brought to you by the Wirtschaftsinformatik at AIS Electronic Library (AISeL). It has been accepted for inclusion in Wirtschaftsinformatik Proceedings 2009 by an authorized administrator of AIS Electronic Library (AISeL). For more information, please contact elibrary@aisnet.org.

LINIENVERKEHRSPLANUNG FÜR KEP-DIENSTE

Thomas Bednarczyk, Andreas Fink¹

Kurzfassung

Für Kurier-, Express- und Paketdienste (KEP-Dienste) stellt die Gestaltung der logistischen Abläufe einen zentralen Erfolgsfaktor dar. Es ergeben sich vielfältige strategische, taktische und operative Planungsaufgaben. In der taktischen Planung sind u.a. depotbezogen die Tourgebiete für den Nahverkehr zu planen und für den Transport der Sendungen im Fernverkehr ein Linienfahrplan zu erstellen. Diese Arbeit betrachtet die Linienverkehrsplanung. Als Fallstudie liegen die Netze und Sendungsdaten europaweit tätiger KEP-Dienstleister zugrunde. Nach einer Darstellung der Planungsaufgabe wird ein heuristischer Lösungsansatz beschrieben, der zentrale Aspekte der praktischen Fallstudien berücksichtigt und mit geringen Rechenzeiten hochwertige Lösungen erzielt.

1. Problemstellung

1.1. KEP-Dienste

Der logistische Dienstleistungsmarkt der Kurier-, Express- und Paketdienstleister (KEP-Dienste) bezieht sich im Kern auf Kleingut bis 31,5 kg, wie z.B. Briefe, Dokumente und Pakete. Die Teilmärkte Kurier-, Express- und Paketdienste werden anhand der spezifischen Leistungen und der Preisstruktur voneinander abgegrenzt, wobei in der Praxis ausgeprägte Überschneidungen auftreten. Für eine vertiefte Betrachtung der KEP-Dienste siehe [6] (S. C 3 – 70ff). Im Gegensatz zum Stückgutmarkt, mit typischen Transportgewichten bis zu zwei Tonnen, sind bei den KEP-Diensten die Sendungsgewichte kleiner und die Anzahl der Sendungen größer. Da die zulässigen Güter im KEP-Markt hinsichtlich Vielfalt, Maß und Gewicht eingeschränkt sind, lässt sich für Transport, Lagerung und Umschlag eine hohe Standardisierung erreichen. Dies führt dazu, dass entsprechende Güter zuverlässig und in kurzen Laufzeiten (etwa 24 oder 48 Stunden, Same-Day- oder Over-Night-Delivery) in getakteten Verkehren transportiert werden können.

1.2. Planungsaufgaben bei der Transportdurchführung

Der Versand von KEP-Sendungen zwischen Versendern und Empfängern umfasst die logistischen Funktionen Sammeln, Sortieren, Umschlagen, Transportieren und Verteilen. Hierbei fallen

¹ Professur für Betriebswirtschaftslehre, insbes. Wirtschaftsinformatik, Fakultät für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg, Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg, Deutschland

Planungsaufgaben auf strategischer, taktischer und operativer Ebene an. Die wesentlichen Standorte des logistischen Netzwerks werden auf der strategischen Ebene längerfristig geplant. In der taktischen Planung sind in dem gegebenen Netzwerk die grundsätzlichen Verkehrsabläufe zu organisieren. Die operative Planung bezieht sich auf die eigentliche Realisierung. Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen den Planungsebenen der Verkehrsorganisation in Sammelgutspeeditionen (vgl. [8] und [2]); diese Problemfelder sind auf KEP-Dienstleister übertragbar.

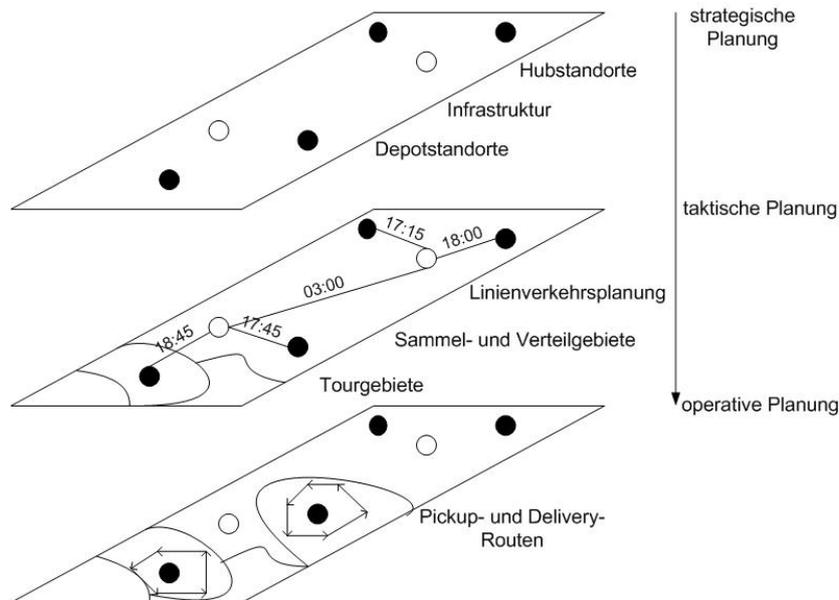


Abbildung 1: Planungsebenen für KEP-Dienste (Quelle: [8] (eigene Darstellung)).

Die als Start- und Endpunkte von Sammel- und Verteiltouren definierten Knoten werden als Depots bzw. Versand- und Empfangsdepots bezeichnet. In den Versanddepots werden Sendungen hinsichtlich der Versandziele sortiert. Sendungsschwache Relationen (mit relativ geringen Transportmengen zwischen bestimmten Versand- und Empfangsdepots) werden zweckmäßigerweise zu größeren Transporten zu zentralen Umschlageinrichtungen (Hubs) gebündelt (Konsolidierung von Mengen). Der Transport der Sendungen wird im gebrochenen Verfahren typischerweise in einer dreigliedrigen Transportkette durchgeführt: Vorlauf, Hauptlauf und Nachlauf (vgl. Abbildung 2).

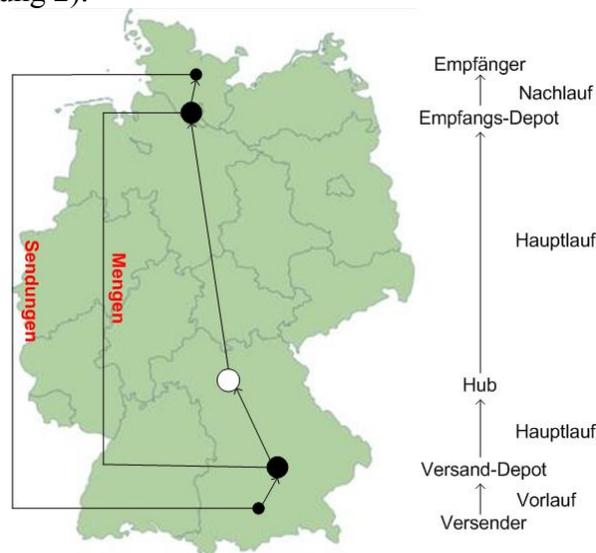


Abbildung 2: Vor-, Haupt- und Nachlauf vom Versender zum Empfänger.

Beim Vorlauf werden die Transporte von Sendungen zwischen Versendern und Depots betrachtet. Von einem Depot starten in der Regel mehrere Sammeltouren, die das Sendungsaufkommen innerhalb der Region aufnehmen und zum Depot befördern (Flächenverkehre). Im Depot ankommend werden die eintreffenden Sendungen umgeschlagen und für den Hauptlauf sortiert. Beim Nachlauf erfolgt analog zum Vorlauf die Auslieferung der Sendungen an die Empfänger auf mehreren Verteiltouren.

Während des Hauptlaufs werden alle Sendungen, die vom gleichen Versanddepot in Gebiete gleicher Empfangsdepots befördert werden sollen, zu einer so genannten Menge gebündelt und auf ein Fahrzeug verladen (Fernverkehre). Diese Mengen werden grundsätzlich in Gewicht und Volumen angegeben. Bei KEP-Diensten können zur genaueren Planung weitere Kenngrößen angegeben werden (etwa Anzahl Pakete, Paletten und Dokumente). Bei den im Hauptlauf eingesetzten Transportfahrzeugen handelt es sich in der Regel um Wechselbrückenfahrzeuge, die zwei normierte Ladegefäße aufnehmen können (z.B. Hoch- oder Halbboxen). Um die Auslastung der Ladegefäße näherungsweise zu berechnen, sind Kapazitäten in Bezug auf die Kenngrößen vorgegeben. Für eine realitätsnahe Planung werden Informationen über die vorgesehenen Arten der Ladegefäße und deren Anzahl auf den einzelnen Hauptläufen und die Andockzeit eines bestimmten Ladegefäßes an den Toren der Standorte benötigt.

Je nach Anzahl der Depots können im Hauptlauf viele Transportrelationen vorliegen. Um die Transportmittel angemessen auszulasten, werden im Hauptlauf Konsolidierungsschritte durchgeführt. In der Regel erfolgt dies durch Abwicklung mehrerer Transporte über einen weiteren Umschlagspunkt (Hub). Für die Konsolidierung von Transporten ist eine zeitliche Abstimmung der Verkehre zwischen den Vor- und Hauptläufen, den Haupt- und Nachläufen und den einzelnen Hauptlauftransporten durchzuführen. Der Verlauf der Transporte kann dann über mehrere Hubs mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln erfolgen. Netzwerke für KEP-Dienste können in Direktverkehrs-, Hub-and-Spoke-, Regionalhub- oder Feederhubnetze unterschieden werden (vgl. [2] S. 48ff). Im KEP-Dienstleistungsmarkt kommen diese Netze jedoch nur selten in ihrer reinen Form vor, sondern es liegen häufig Mischstrukturen vor, wobei auch Depots und Hubs nicht klar voneinander getrennt werden. Ein Standort kann sowohl als Versand- und Empfangsdepot als auch als Hub dienen. Diese unterschiedlichen Funktionen von Standorten können zu verschiedenen Tageszeiten angenommen werden.

1.3. Linienverkehrsplanung

Das in dieser Arbeit betrachtete Problem der Linienverkehrsplanung zählt zur taktischen Planungsebene. Vorausgesetzt werden ein Netzwerk aus Depot- und Hubstandorten sowie die darauf basierende Netzstruktur. In der mittelfristigen Planung sind sowohl für jedes Depot die Tourgebiete für den Nahverkehr zu planen (vgl. z.B. [2]) als auch der Transport der Mengen im Fernverkehr (Depot-Depot-Relationen, kurz: Relationen) zu gestalten. Aufgrund des Vorlaufs bilden sich an den Versanddepots Sammelladungen, die im Hauptlauf vom Versand- zum Empfangsdepot transportiert werden müssen. Da die aufkommende Transportmenge je Relation im Vergleich zum Nahverkehr gut prognostizierbar ist (vgl. [8], S. 39), ist es in der Regel zweckmäßig, die Transportmengen im Hauptlauf täglich auf die gleiche Art und Weise durchzuführen. Dementsprechend werden die Verkehre im Hauptlauf fahrplanmäßig getaktet gestaltet (Linienverkehre). Für die Linienverkehrsplanung wird das tägliche Mengenaufkommen, welches sich aus den einzelnen Sendungsdaten und den Einzugsgebieten der Depots ergibt, für jede Relation vorgegeben. Da der Linienverkehrsplan mittelfristig gültig sein soll (etwa für mehrere Monate), ist von täglich nur geringfügig schwankenden Transportmengen auszugehen. Analog verhält es sich

mit der Einrollverteilung an den Versanddepots. Die Einrollverteilung eines Versanddepots bestimmt, wie groß zu bestimmten Zeitpunkten im Tagesverlauf der prozentuale Anteil der bereits eingetroffenen Transportmenge zur gesamten vom Versanddepot abgehenden Menge ist.

Um einen hohen Auslastungsgrad der Fahrzeuge und Ladegefäße zu erreichen, sind die für einen Hauptlauf eingeplanten Ressourcen in Abhängigkeit von dem Mengenaufkommen auf diesem Hauptlauf (basierend auf der Kenntnis des genauen Verlaufs einer Relation) zu gestalten. Bei der Bestimmung der Transportwege je Relation werden die strategisch festgelegten Netzstrukturen berücksichtigt. Die Bestimmung des Transportweges einer Relation umfasst die Hubs, an denen umgeschlagen wird, sowie die Depots, an denen eine Ladegefäßkonsolidierung erfolgt. Der Hauptlauf jeder Relation kann somit in mehrere Transportabschnitte zerlegt werden. Sofern die Transportmenge einer Relation ausreichend groß ist, werden die Mengen ohne Konsolidierung direkt vom Versand- zum Empfangsdepot transportiert.

Bei den KEP-Diensten handelt es sich in Bezug auf die einzelnen Relationen meistens um Mengenaufkommen, die kein ganzes Ladegefäß füllen. Des Weiteren werden die Mengen der einzelnen Relationen aufgrund der Einrollverteilung und der fortlaufenden Beladung der Relationen mit demselben Transportabschnitt auf die Ladegefäße mehrmals geteilt. So enthalten die Ladegefäße Mengen, die sich aus mehreren Relationen zusammensetzen. Wegen der Aufspaltung einer Relation in mehrere Transportabschnitte werden die Transportmengen zwischen dem Versand- und dem Empfangsdepot vorwiegend auf mehreren verschiedenen Fahrzeuge transportiert. Dafür müssen zeitliche Restriktionen für die Fahrzeuge vorgegeben werden. Diese Restriktionen ergeben sich aus der Vorgabe von frühesten und spätesten Abfahrtszeiten auf den einzelnen Transportabschnitten der Relationen. Diese sollen garantieren, dass der Transport der Mengen auf den betreffenden Transportabschnitten in vorgegebenen Zeitfenstern erfolgt. Damit kann bewertet werden, wie viel Mengen der jeweiligen Relationen rechtzeitig am Empfangsdepot ankommen.

Nach [8] (S. 45) stehen bei der Linienverkehrsplanung die folgenden vier Entscheidungsfelder im Mittelpunkt:

- Bestimmung der Transportwege je Relation,
- Bündelung der Mengen zu Ladegefäßen,
- Kombination der Ladegefäße zu Fahrzeugladungen und
- Bestimmung der genauen Touren der Fahrzeuge mit Identifizierung von geschlossenen Umläufen, Begegnungsverkehren und One-Way-Fahrten.

Hier werden die Bündelung der Mengen zu Ladegefäßen und die Kombination der Ladegefäße zu Fahrzeugladungen betrachtet. Aufgrund praktischer Vorgaben sind die Transportwege je Relation vorgegeben (aus einem vorgelagerten Planungsschritt). Als zukünftige Aufgabe verbleibt die Bestimmung der genauen Touren der Fahrzeuge mit Identifizierung von geschlossenen Umläufen, Begegnungsverkehren und One-Way-Fahrten.

Für KEP-Dienstleister sind der kostenorientierte Einsatz von Fahrern und Fahrzeugen und ein hoher Servicegrad die vorrangigen, konkurrierenden Planungsziele. Bei einer gegebenen Fahrer- und Fahrzeugverfügbarkeit sind bei Vorgabe von Zeitfenstern für die einzelnen Relationen verspätet ankommende Transportmengen an den Empfangsdepots zu minimieren. Ziel ist damit die Maximierung des Servicegrades unter gegebenen Rahmenbedingungen.

2. Modellierung des Problems

Die Linienverkehrsplanung betreffende Problemstellungen werden häufig als ein so genanntes Service Network Design Problem (SNDP) modelliert. Die hierbei verwendeten mathematischen Netzwerkformulierungen umfassen Raum und Zeitabbildungen; vgl. den Überblick zur entsprechenden Literatur, zu mathematischen Formulierungen sowie den hieraus abgeleiteten Merkmalskatalog in [7]. Beispiele für in der Literatur betrachtete praktische Problemstellungen sind das Expressdienst-Problem in einem Flugnetz [1], das Direkt- und Hubflugproblem für Briefsendungen [4], die Planung von Stückgut-Transporten in Nordamerika [3] sowie Stückgut-Transporte in Europa auf einem Straßenverkehrsnetz [8]. Die in dieser Arbeit behandelten praktischen Problemstellungen europaweit tätiger KEP-Dienstleister unterscheiden sich hinsichtlich verschiedener Merkmale von diesen Problemstellungen, weshalb eine eigenständige Problemformulierung und ein hierauf ausgerichteter heuristischer Lösungsansatz entwickelt wurden.

In Anlehnung an den Merkmalskatalog von [7] zeigt Tabelle 1 die wichtigsten Merkmale der hier behandelten Problemstellung. Dieser Katalog wurde durch spezifische Eigenschaften der jetzigen Problemstellung ergänzt.

Tabelle 1: Hauptmerkmale des betrachteten KEP-Dienstes.

Problemmerkmale	KEP-Dienst
geographisches Gebiet	national, international
Transportmittel	Straßenfahrzeug
Güter	homogen, mehrere Kenngrößen (Paletten, Pakete, Dokumente, Volumen, Gewicht)
Servicezeit	24 h, 48 h oder mehr, Zeitfenster
Verkehre	Direktverkehre, Verkehre über ein Hub, unbegrenzte Anzahl von Transportverbindungen
Transport der Mengen	Einzeltransport oder Bündelung der Mengen
Kosten	Transportkosten, Strafkosten für Verspätung, Umschlagskosten
Netzwerk	gemischtes Transportnetz
Typen von Hubs	zentrale, regionale Hubs
Stufigkeit der Standorte	einstufig (nur Depot oder Hub), mehrstufig (Depot und Hub)
Standorteigenschaften	Anzahl und Lage der Depots und Hubs, Umschlagskapazitäten an den Eingangstoren, Be- und Entladedauer, Anzahl Eingangstore am Depot und Hub, Öffnungszeiten, Einrollverteilung am Versanddepot und Hub
Ziele der Optimierung	Maximierung des Servicegrades, Minimierung der Anzahl Fahrzeugtransporte
zusätzliche Restriktionen	Fahrzeit, Typen und Anzahl von Ladegefäßen, Dauer für das Wechseln von Ladegefäßen an den Eingangstoren

Auf Basis des Merkmalskatalogs wurde ein formales Modell entwickelt, das aus zwei Teilproblemen besteht. Im ersten Teilproblem steht die Bündelung der Mengen zu Ladegefäßen im Mittelpunkt. Darauf aufbauend wird im zweiten Teilproblem die Kombination von Ladegefäßen zu Fahrzeugladungen betrachtet.

Im ersten Teilproblem ist festzulegen, welchen Ladegefäßen zu transportierende Mengen der Relationen auf den einzelnen Transportverbindungen zugeordnet werden (in Verbindung mit den Abfahrts- und Ankunftszeiten der Ladegefäße). Dabei sind der Beginn der Entladung am Eingangstor und die Umschlagsdauer für die zu entladenden Mengen eines Ladegefäßes zu

ermitteln. Hieraus resultiert, wann welche Mengen zum Weitertransport zur Verfügung stehen. Ziel ist die Maximierung des Servicegrades. Die Öffnungszeiten und die entsprechenden Verfügbarkeitszeitpunkte von Eingangstoren am Empfangsdepot können hierbei unberücksichtigt bleiben, da für die letzte Transportverbindung einer Relation das dazugehörige Zeitfenster für den Abfahrtszeitpunkt über die Pünktlichkeit bzw. Verspätung der Relation entscheidet. Alle restlichen Merkmale des Modells werden durch harte (d.h. unverletzliche) Restriktionen dargestellt.

Aufbauend auf der Lösung des ersten Teilproblems wird in einem nachgeordneten zweiten Teilproblem die Minimierung des Aufwands für Fahrzeugtransporte betrachtet. Bei Entscheidungen zur Kombination von Ladegefäßen sind die Abfahrtszeiten und der Beginn der Entladung eines Ladegefäßes zu beachten. Die Einhaltung der Zuglänge, die Möglichkeiten für die Zuordnung eines Ladegefäßes zu einem Fahrzeug und zueinander passende Zeitfenster von kombinierten Ladegefäßen werden durch harte Restriktionen abgebildet.

Da für KEP-Dienstleister die Kundenzufriedenheit von großer Bedeutung ist, ist die Erreichung eines möglichst hohen Servicegrades als Hauptziel zu betrachten. Dementsprechend wird zunächst das erste Teilproblem gelöst (mit Servicegradzielsetzung), wodurch gegebenenfalls eine höhere Anzahl von Fahrzeugtransporten in Kauf genommen wird.

3. Lösungsverfahren und Tests

3.1. Verfahren für das erste Teilproblem

Für das erste Teilproblem wurde eine regelbasierte Konstruktionsheuristik entwickelt. Die Heuristik basiert auf einer Zuordnung der einzelnen Transportverbindungen zu Stufen: erste Transportverbindung zur Stufe eins, zweite Transportverbindung zur Stufe zwei, dritte Transportverbindung zur Stufe drei usw. Um in jeder Stufe möglichst viele Mengen pünktlich weiterzuleiten, werden die Stufen bei eins beginnend sukzessive abgearbeitet. Diese Vorgehensweise berücksichtigt, dass auf der zweiten bzw. höher liegenden Stufe nur das pünktlich weitergeleitet werden kann, was auf den vorhergehenden schon pünktlich transportiert wurde.

Im Verfahren (siehe Abbildung 4) werden mit der ersten Stufe beginnend alle vorhandenen Stufen durchlaufen. Für jede Stufe existieren Hauptläufe, auf denen Mengen transportiert werden müssen. Diese Hauptläufe sind nach Start- und Zielpunkt sortiert und durch Ladegefäße gekennzeichnet. Die Anzahl der Ladegefäße auf den einzelnen Hauptläufen ist so groß, dass alle zu transportierenden Mengen transportiert werden können.

Bei der ersten Stufe werden unter Berücksichtigung der Einrollverteilung und Festlegung, in welchen Zeitabständen (z.B. Intervalle von 15 oder 30 Minuten) vorgegangen werden soll, die für Transporte verfügbaren Mengen ermittelt. Bei einer höheren Stufe stehen bei der Ermittlung der verfügbaren Mengen die Mengen zur Verfügung, die auf der vorhergehenden Stufe pünktlich transportiert wurden. Dabei können die relevanten Mengen auf verschiedene Ladegefäße geladen sein und daher unterschiedliche Verfügbarkeitszeitpunkte haben. Weiterhin hängt der Verfügbarkeitszeitpunkt der Mengen von der Verfügbarkeit eines Eingangstores und von der Umschlagsdauer ab. Die Umschlagsdauer ergibt sich aus der Umschlagskapazität am Eingangstor und wird zwecks Einrollverteilung in mehrere Zeitintervalle aufgeteilt. Die berechneten Mengen werden nach den Verfügbarkeitszeitpunkten aufsteigend sortiert.

Nach Ermittlung der verfügbaren Mengen, können diese unter Berücksichtigung der Zeitfenster und Kapazitäten auf die vorhandenen Ladegefäße geladen werden. Hierbei können nur Mengen zusammen auf ein Ladegefäß geladen werden, deren Zeitfenster zueinander passen. Da es auf den einzelnen Hauptläufen Mengen mit sehr engen Zeitfenstern geben kann, die eine schlechte Auslastung mit pünktlich geladenen Mengen von Ladegefäßen verursachen, müssen diese identifiziert und als verspätet gekennzeichnet werden. Dafür wurde ein Parameter eingeführt, der angibt, wie groß der prozentuale Anteil verspäteter Mengen im Verhältnis zu einem mit pünktlichen Mengen voll ausgelasteten Ladegefäß höchstens sein darf (z.B. 10 %). Ist der Anteil dieser Mengen nicht größer als der vorgegebene Wert, dann werden sie als verspätet markiert. Anschließend können die Kennzahlen des betrachteten Ladegefäßes aktualisiert werden (etwa die früheste und späteste Abfahrtszeit und Auslastungswerte). Der früheste und späteste Abfahrtszeitpunkt eines Ladegefäßes ergibt sich aus den Zeitfenstern und Verfügbarkeitszeitpunkten der pünktlich geladenen Mengen der jeweiligen Relationen.

Bei Beachtung der Standortkapazitäten werden für ein Ladegefäß am Zielstandort der Verfügbarkeitspunkt eines Eingangstores und die Umschlagsdauer ermittelt. Dazu werden Informationen wie Öffnungszeiten, Umschlagskapazitäten, Anzahl Eingangstore und Andockzeit eines Ladegefäßes berücksichtigt. Das Ziel bei der Ermittlung des Verfügbarkeitspunktes eines Eingangstores ist die Maximierung der Auslastung der Eingangstore, da sie einen Engpass im ganzen System bilden. Die Festlegung des Starts des Umschlags und der Umschlagsdauer sind wichtig für den Verfügbarkeitszeitpunkt der Mengen, die weiter transportiert werden müssen.

Konnten nicht alle verfügbaren Mengen auf das gewählte Ladegefäß geladen werden, wird das nächste Ladegefäß des betroffenen Hauptlaufes ausgewählt; falls keines mehr vorhanden ist, gelten die restlichen Mengen als verspätet.

Mit diesem Verfahren können durch wechselnde Parametereinstellungen unterschiedliche Lösungen berechnet werden (worauf hier nicht näher eingegangen wird). Aus der erhaltenen Lösung wird der zugehörige Servicegrad aus dem Maximum der Servicegradkennzahlen hinsichtlich Gewicht, Volumen und Pakete + Paletten + Dokumente ermittelt.

Für alle Stufen

Für alle Ladegefäße auf der gewählten Stufe

- 1 Berechnung der verfügbaren Mengen
- 2 Beladung des Ladegefäßes
 - 2.1 dabei Zeitfenster und Kapazitäten beachten
 - 2.2 ggf. ungünstige Mengen von Relationen identifizieren und als verspätet kennzeichnen
- 3 Aktualisierung der Kennzahlen des Ladegefäßes
- 4 Standortkapazitäten beachten
- 5 wenn Mengen noch verfügbar, wähle neues Ladegefäß und gehe zu 2

Berechnung des Servicegrades

Abbildung 4: Pseudocode des Verfahrens für das erste Teilproblem.

3.2. Verfahren für das zweite Teilproblem

Nachdem die zu transportierenden Mengen zu Ladegefäßen gebündelt wurden, können im Folgenden die Ladegefäße zu Fahrzeugladungen kombiniert werden (siehe Abbildung 5). Vorausgesetzt, dass alle Fahrzeuge zwei Ladegefäße transportieren können, werden nur Hauptläufe

mit mindestens zwei Ladegefäßen betrachtet. (Bei Hauptläufen mit nur einem Ladegefäß besteht kein Entscheidungsproblem.)

Nach Auswahl eines Hauptlaufs können die Zuordnungskosten für den gemeinsamen Transport zweier Ladegefäße ermittelt werden. Unter Berücksichtigung, dass sich die Zeitfenster zweier Ladegefäße überschneiden müssen, hängen die Kosten vom Abstand der beiden frühesten Abfahrtszeitpunkte ab. Überschneiden sich die Zeitfenster zweier betrachteter Ladegefäße nicht, dann ist auch eine Kombinierbarkeit dieser beiden Ladegefäße nicht möglich. Dies mindert die Häufigkeit der Kombinierbarkeit beider Ladegefäße um eins. Beginnend mit den Ladegefäßen, die die kleinste Häufigkeit haben, können anschließend in Abhängigkeit der Zuordnungskosten und Häufigkeit die Ladegefäße miteinander kombiniert werden.

Für alle Hauptläufe mit mehr als einem Ladegefäß

- 1 Ermittlung der Zuordnungskosten
 - 1.1 Berücksichtigung der Zeitfenster
 - 1.2 Ermittle die Häufigkeit der Kombinierbarkeit eines Ladegefäßes mit anderen Ladegefäßen
- 2 Auswertung der Zuordnungskosten
 - 2.1 bevorzuge Ladegefäße mit kleinster Häufigkeit
 - 2.2 bündele Ladegefäße mit kleinsten Zeitabständen
- 3 Wähle nächsten Hauptlauf und gehe zu 1

Abbildung 5: Pseudocode des Verfahrens für das zweite Teilproblem.

3.3. Tests

In diesem Abschnitt werden durchgeführte Tests mit zwei realen Datensätzen kurz beschrieben. Die Datensätze der Unternehmen sind in Tabelle 2 grob charakterisiert. Die Anzahl der Transportverbindungen ergeben sich als die Summe der Transportabschnittanzahl aller Relationen; dabei kann eine Relation aus einem oder mehreren Transportabschnitt(en) bestehen.

Tabelle 2: Eigenschaften der Datensätze.

Eigenschaften	Datensatz 1	Datensatz 2
geographisches Gebiet	Frankreich	Europa
# Depots / Hubs	ca. 80 / ca. 10	ca. 100 / ca. 20
# Relationen	ca. 6.000	ca. 20.000
# Transportverbindungen	ca. 12.000	ca. 50.000
höchste Anzahl von Transportabschnitten	3	9
# Paletten / Pakete	ca. 16.000 / ca. 125.000	0 / ca. 1.6 Mill.
Volumen / Gewicht (qm / t)	ca. 16.000 / ca. 3000	keine Angabe
# Ladegefäße	ca. 1.200 (eine Art)	ca. 3.700 (zwei Arten)
# Hauptläufe	ca. 440	ca. 1700

Eine Auswahl der erzielten Ergebnisse ist in Tabelle 3 zusammengefasst dargestellt. Vorausgegangen waren hier nicht dokumentierte Parametertests. Die angegebene einfache obere Schranke für den Servicegrad ergibt sich aus dem maximal möglichen Servicegrad von 100 % abzüglich der Mengen, die aufgrund der Einrollverteilung am Versanddepot nicht zu 100 % zum spätestmöglichen Abfahrtszeitpunkt zur Verfügung stehen. Die einfache untere Schranke für die Anzahl der Fahrzeugtransporte resultiert aus der Summe der notwendigen Transporte auf den einzelnen Hauptläufen.

Der erzielte Servicegrad ist nicht unmittelbar mit in der Praxis ermittelten Servicegradwerten vergleichbar, da hier lediglich eine Planung und keine Steuerung der Linienverkehre durchgeführt wird. Daher werden z.B. keine Störereignisse berücksichtigt. Außerdem ist das hier zugrunde gelegte Modell in einigen Aspekten (in Übereinstimmung mit den Anforderungen der Fallstudien) bewusst einschränkender ausgeführt, während in der praktischen Realisierung harte Restriktionen nicht immer eingehalten werden. Wenn beispielsweise durch das Verfahren ermittelte Laderaster zu einer Ausschöpfung der Ladegefäßkapazität führen, können in der Praxis gegebenenfalls immer noch Mengen zugeladen werden (etwa aufgrund von Abweichungen zwischen Planungs- und Steuerungsdaten hinsichtlich Volumen, Gewicht oder Anzahl von Paketen, Paletten und Dokumenten).

Die Anzahl der Fahrzeugtransporte hängt von der ermittelten Lösung für das erste Teilproblem ab. Wird eine andere Lösung berechnet, so kann sich die Anzahl der Fahrzeugtransporte ändern. Beispielsweise wurde für den ersten Datensatz 799 als kleinste Anzahl von Fahrzeugtransporten ermittelte (bei einem Servicegrad von 94,32 %). Für den zweiten Datensatz wurde mit 2718 Fahrzeugtransporten ein Servicegrad von 91,62 % erreicht.

Tabelle 3: Rechenergebnisse (Ausschnitt).

Eigenschaften	Datensatz 1	Datensatz 2
bester bekannter Servicegrad (SG) (%)	94,81	93,44
beste bekannte obere Schranke SG (%)	98,93	98,58
# Fahrzeugtransporte (FT)	849	2826
beste bekannte untere Schranke # FT	756	2345
Rechenzeit [s] (ohne Datenaufbereitung)	9,8	119,67

3.4. Umsetzung im Rahmen eines Planungstools

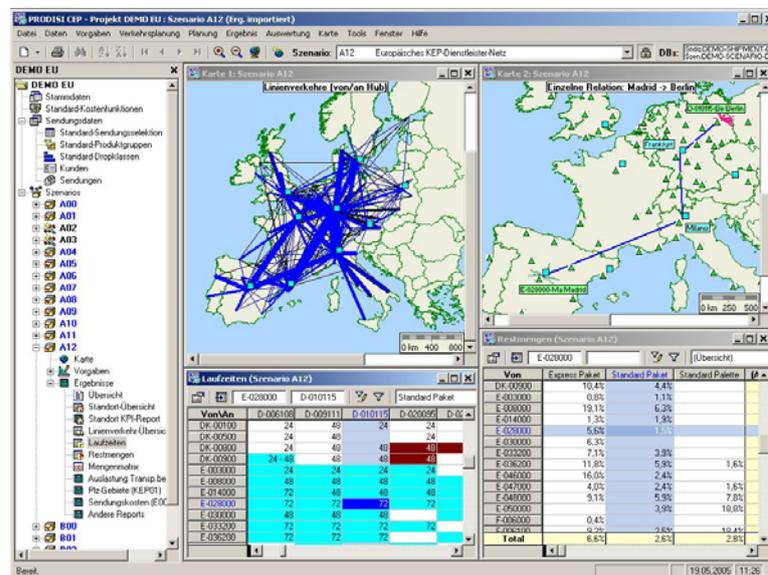


Abbildung 6: Planungstool PRODISI CEP (Quelle: [5])

Die hier vorgestellte Linienverkehrsplanung wurde in Kooperation mit dem Unternehmen PROLOGOS erarbeitet. PROLOGOS bietet die Software PRODISI CEP an (siehe Abbildung 6), welche folgende Planungsfelder von KEP-Dienstleistern unterstützt:

- Netzstruktur,
- Anzahl, Lage, Kapazitäten und Arbeitszeiten der Standorte,
- Sammel- und Verteilgebiete sowie Fuhrparkgröße aller Versand- und Empfangsdepots,

- Laufzeiten und ggf. Restmengen für alle Transportrelationen und Produkte,
- Anzahl, Kapazitäten und Fahrpläne für Linienverkehre.

Der letzte Punkt, die Linienverkehrsplanung, kann mit dem hier beschriebenen und neu entwickelten Lösungsansatz durchgeführt werden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein Verfahren für einen Teilbereich der Linienverkehrsplanung für KEP-Dienste vorgestellt. Die grundsätzlichen Vorgaben und Ziele entstammen den praktischen Erfordernissen international tätiger Logistikdienstleister. Das betrachtete Modell zeichnet sich durch die weitgehende Berücksichtigung verkomplizierender Merkmale der realen Problemstellung aus (etwa spezifische Einrollverteilungen und Standortkapazitäten einschließlich der Verfügbarkeit von Eingangstoren). Mit der Entwicklung eines Verfahrens, mit dem in einer geringen Rechenzeit (wenigen Minuten) ein Servicegrad von größer als 90 % erreicht werden kann, wurden die praktischen Anforderungen erfüllt.

In der Zukunft sollen einerseits Verfahrensverbesserungen hinsichtlich weiterer Steigerungen untersucht werden (etwa durch Anwendung von Metaheuristiken). Andererseits sollen in einer erweiterten Problemmodellierung den Möglichkeiten der Praxis noch besser Rechnung getragen werden (etwa hinsichtlich einer Flexibilisierung von Zeitfenstern).

5. Literaturverzeichnis

- [1] BARNHART, C., KRISHNAN, N., KIM, D. & WARE, K. (2002). Network Design for Express Shipment Delivery. *Computational Optimization and Applications*, 21 (3): 239–262.
- [2] BOCK, S. (2004). Echtzeitfähige Steuerung von Speditionsnetzwerken. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- [3] FARVOLDEN, J. M. & POWELL, W. B. (1994). Subgradient Methods for the Service Network Design Problem. *Transportation Science*, 28 (3): 256–272.
- [4] IRNICH, S. (2002). Netzwerk-Design für zweistufige Transportsysteme und ein Branch- and Price-Verfahren für das gemischte Direkt- und Hubflugproblem. Dissertation. Aachen: RWTH Aachen.
- [5] o.V. (2008). PRODISI CEP – Optimierung von Speditionsnetzen von Stückgut- und KEP-Dienstleistern. <http://www.prologos.de> zuletzt besucht am 14.11.2008.
- [6] THOMAS, F. (2004). Kurier-, Express- und Paketdienste. In Arnold, D., Isermann, H., Kuhn, A. & Tempelmeier, H. (Eds.), *Handbuch Logistik*, pp. C3–70–C3–76, Berlin: Springer.
- [7] WIEBERNEIT, N. (2008). Service network design for freight transportation: a review. *OR Spectrum*, 30: 77–112.
- [8] WLČEK, H. (1998). Gestaltung der Güterverkehrsnetze von Sammelgutspeditionen. Nürnberg: Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik.