

Sequenz B 3-3

Ressourcenplanung in einem Logistiknetzwerk mittels multipler linearer Regression

Prof. Dr.-Ing. habil. W. Dangelmaier, Dipl.-Wirt.-Ing. H. Lessing,
Dipl.-Inf. Dr. Norbert Holthöfer
Fraunhofer-Anwendungszentrum für Logistikorientierte Betriebswirtschaft, Paderborn

Anschrift zur Veröffentlichung:

Fraunhofer-Anwendungszentrum für
Logistikorientierte Betriebswirtschaft
Fürstenallee 11
33102 Paderborn
Tel.: +49 (0) 52 51 / 60 - 69 12
Fax: +49 (0) 52 51 / 60 - 64 82

Gliederung:

1. Das Logistiknetzwerk der Deutschen Post Euro Express
 2. Zielkonflikt in der kurzfristigen Ressourcenplanung
 3. Lösung
 - 3.1. Lösungsansätze
 - 3.2. Analyse der Sendungsströme
 - 3.3. Explorative vs. kausale Prognoseverfahren
 - 3.4. Multi-Einflussfaktoren-Prognose
 - 3.5. Prognosebasierte Personalbedarfsplanung
 - 3.6. Prognosebasierte Transportplanung
 4. Fazit
- Literatur

Stichworte: Prognose, Regression, Absatzprognose, Ressourcenplanung, Logistiknetzwerk, KEP-Markt, Deutsche Post Euro Express

Zusammenfassung:

Das Sendungsaufkommen bei Paketdienstleistern schwankt abhängig von verschiedenen Einflussfaktoren. Um die dem Kunden versprochene Laufzeit einhalten zu können (Erreichen des Qualitätsziels), sind ausreichend Ressourcen erforderlich. Gleichzeitig sind bei der Ressourcenbedarfsplanung die starken Schwankungen zu berücksichtigen, um Ressourcenverschwendung zu vermeiden (Erreichen des Kostenziels). Für die Bewältigung dieses täglichen Konflikts gibt es verschiedene Lösungsstrategien. Die tägliche Erstellung genauestmöglicher Prognosen mittels multipler linearer Regression und unter Berücksichtigung von mehr als fünfzig Einflussfaktoren hat sich als Lösungsalternative bewährt.

1. Das Logistiknetzwerk der Deutschen Post Euro Express

Innerhalb des Konzerns Deutsche Post World Net deckt der Unternehmensbereich EuroExpress unter anderem das nationale und internationale Paketgeschäft ab. In Deutschland bilden 33 Paketzentren das Rückgrat des Logistiknetzwerks zur Abwicklung des klassischen Paketgeschäfts. Die Sendungen aus dem Einzugsbereich eines Paketzentrums (PZ) werden in diesem PZ über eine Sortieranlage nach Ziel-PZ sortiert und dann per Lkw oder Bahn zum Ziel-PZ transportiert. Die Sendungen für den Einzugsbereich eines PZ treffen dann über Nacht aus dem gesamten Bundesgebiet ein und werden über die Sortieranlage für die anschließende Zustellung nach Zustellbezirken sortiert. Das nachfolgend beschriebene Prognosemodell wurde für die Prognose des Sendungsaufkommens entwickelt und wird in Form eines Software-Tools in den Paketzentren für die Ressourcenplanung eingesetzt.

2. Zielkonflikt in der kurzfristigen Ressourcenplanung

Die Menge der eingelieferten Sendungen unterliegt starken Schwankungen innerhalb einer Woche, eines Monats und eines Kalenderjahres (vgl. Abb. 1). In den Paketzentren wird daher monatlich bzw. wöchentlich eine Produktionsplanung für die nächste Periode erstellt. Aus diesem kurzfristigen Produktionsplan wird in erster Linie der Personalbedarf und damit der Schichtplan abgeleitet. Zusätzlich wird täglich am Vormittag die Personal- und Transportplanung entsprechend der erwarteten Sendungsmenge nochmals angepasst.

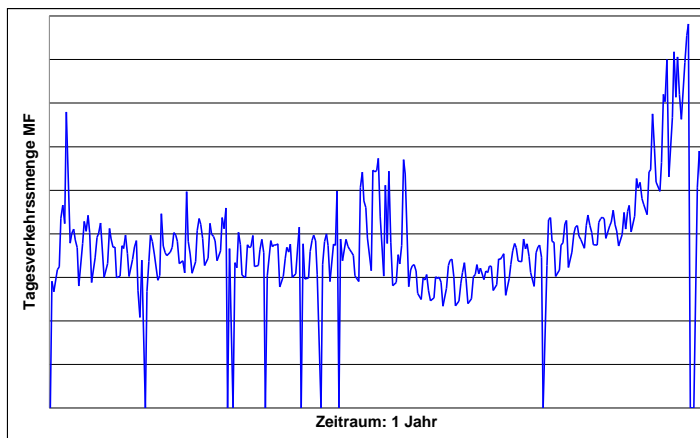


Abb. 1: Tägliche Sendungsmengen eines ausgewählten Paketzentrums im Jahresverlauf

Insbesondere die Personalbedarfsplanung hat einen großen Einfluss auf das Erreichen der Kosten- und Qualitätsziele. Zu wenig Personal würde zu einer verspäteten Bearbeitung und damit zu einer verspäteten Auslieferung führen (Qualitätsziel). Ein Ausgleich des Mehrbedarfs durch verlängerte Arbeitszeiten („Überstunden“) ist aufgrund des straffen Zeitplans nicht möglich. Fällt die Sendungsmenge hingegen geringer aus als erwartet, sinkt die Personalproduktivität in gleichem Maße. Das führt in diesem personalintensiven Bereich sehr schnell zu deutlichen Mehrkosten (Kostenziel). Ein Ausgleich des Minderbedarfs durch verkürzte Arbeitszeiten ist aufgrund tarifvertraglicher Regelungen und aufgrund des Zeitplans (Sendungen werden noch bis kurz vor Ende der Schicht eingeliefert) nicht möglich.

Welche Lösungsalternativen gibt es, um sicherzustellen, dass möglichst alle Sendungen noch am selben Tag bearbeitet werden und gleichzeitig die Ressourcen optimal ausgelastet werden?

3. Lösung

3.1. Lösungsansätze

Die einzelnen Lösungsmöglichkeiten lassen sich zwei grundsätzlich verschiedenen Lösungsansätzen zuordnen. Der erste Ansatz beruht auf der Überlegung, den Kapazitätsbedarf zu glätten und an die vorhandenen Kapazitäten anzupassen. Eine Möglichkeit würde darin bestehen, einen Teil der Sendungen später zu bearbeiten (Glättung über die Zeit). Da mindestens 96 % aller Sendungen auch weiterhin am nächsten Tag ausgeliefert werden sollen und der straffe Zeitplan keine Verschiebungen zulässt, scheidet diese Möglichkeit aus. (Anmerkung: Nach Erweiterung der Produktpalette um Sendungen, die erst am übernächsten Tag auszuliefern sind, wäre eine solcher zeitlicher Ausgleich denkbar.) Eine weitere Lösungsmöglichkeit bestünde darin, die Kapazitätsnachfrage zwischen den Produktionseinheiten, d. h. zwischen den PZs, auszugleichen. In Ballungsräumen wird diese Vorgehensweise z. B. bei größeren Sondereinlieferungen von Großkunden gelegentlich angewandt. Sie eignet sich aber nur zum Ausgleich lokal auftretender Nachfragespitzen. Für bundesweit auftretende Nachfragespitzen z. B. vor Ostern, zum Muttertag oder bei größeren Entfernungen zwischen den Produktionseinheiten wie z. B. in Ostdeutschland ist diese Vorgehensweise nur bedingt geeignet.

Der zweite Ansatz fokussiert auf die (tägliche) kurzfristige Anpassung des Kapazitätsangebots an den (erwarteten) Bedarf. Für jede Schicht werden die zu bearbeitenden Sendungsströme, aufgeteilt nach Produktgruppen, prognostiziert. Auf Basis dieser Mengenprognose werden die in den einzelnen Zeitfenstern benötigten Ressourcen ermittelt und die Kapazitätsplanung entsprechend angepasst. Voraussetzung für die Realisierung dieser Lösungsmöglichkeit sind flexible Ressourcen. Aus Sicht der Paketzentren sind vor allem zwei kritische Ressourcen zu betrachten: das zur Bearbeitung der Sendungen im PZ benötigte Personal (in Personalstunden) und das für die Beförderung zu den Ziel-PZs benötigte Transportvolumen (in Containern bzw. Transportaufträgen). Bei allen anderen Ressourcen (Anlagenkapazität, Codierterminals, Rollbehälter etc.) wird hier davon ausgegangen, dass sie in jedem Fall in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen.

3.2. Analyse der Sendungsströme

Die Analyse des täglichen Sendungsaufkommens für eine Reihe ausgewählter Paketzentren ergab folgendes:

- Die Gruppe der maschinenfähigen (mf) Sendungen beansprucht mehr als 90% der Ressourcen. Zudem korrelieren die verbleibenden Sendungsströme sehr stark mit dem Strom der mf-Sendungen. Um den Analyseaufwand zu begrenzen, konzentrieren sich die weiteren Betrachtungen auf die mf-Sendungen.
- Das tägliche Sendungsaufkommen schwankt sehr stark und scheint zunächst nicht prognostizierbar (vgl. Abb. 1). Bei Betrachtung der Sendungsmengenverteilung innerhalb der Woche stellte sich heraus, dass der prozentuale Anteil eines bestimmten Wochentags an der Wochenverkehrsmenge nur geringen Schwankungen unterliegt und dadurch relativ einfach und genau (als gleitender Mittelwert) prognostiziert werden kann. Es ist also möglich, Wochenverkehrsmengen zu prognostizieren und diese über ebenfalls prognostizierte Wochenprofile auf Tage aufzuteilen. Die aggregierte Wochenverkehrsmenge ergibt im Jahresverlauf eine deutlich harmonischere Zeitreihe (vgl. Abb. 2). Schwankungen innerhalb einer Woche werden ausgeglichen. Der Jahresverlauf der Wochenverkehrsmenge wiederholt sich jedes Jahr in ähnlicher Form und wird dabei von einem langfristigen Trend überlagert.

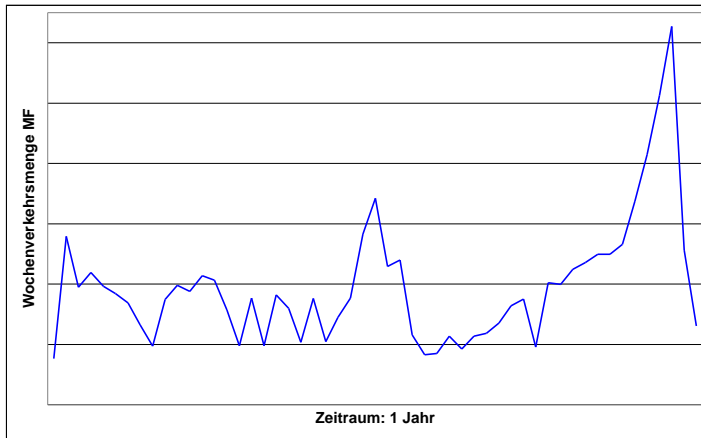


Abb. 2: Wöchentliche Sendungsmengen eines ausgewählten Paketzentrums im Jahresverlauf

- Es existiert eine Vielzahl von regelmäßig auftretenden Einflussfaktoren, die die Sendungsmenge jedes Jahr in ähnlichem Umfang beeinflussen. Dazu zählen unter anderem Feiertage, feiertagsähnliche Tage (z. B. Karneval, Muttertag), Schulferien sowie weitere saisonale Effekte (z. B. die Vorweihnachtszeit). Allerdings treten bestimmte Einflüsse nicht jedes Jahr zum gleichen Zeitpunkt auf (z. B. Ostern).
- Die summierte Sendungsmenge MF enthält Ausreißer (Sondereinlieferungen o. ä.) und Strukturbrüche (geänderte Kundenstruktur o. ä.). Um eine möglichst hohe Prognosegenauigkeit zu erzielen, sind die Vergangenheitsdaten um diese Effekte zu bereinigen.

Im nächsten Schritt ist nun ein geeignetes Verfahren zur Prognose der von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängigen Zeitreihen auszuwählen.

3.3. Explorative vs. kausale Prognoseverfahren

Allgemein können zwei Methodenkategorien zur Prognose derartiger Zeitreihen unterschieden werden. Explorative Methoden (gleitende Durchschnitte, exponentielle Glättung, Verfahren nach Holt und Winters etc., vgl. [1], S. 53-78) verwenden ausschließlich die Zeitreihe selbst als Prognosegrundlage. Sie basieren auf der Annahme, dass sich Trends und Einflüsse aus der Vergangenheit in der Zukunft fortsetzen (vgl. Abb. 3).

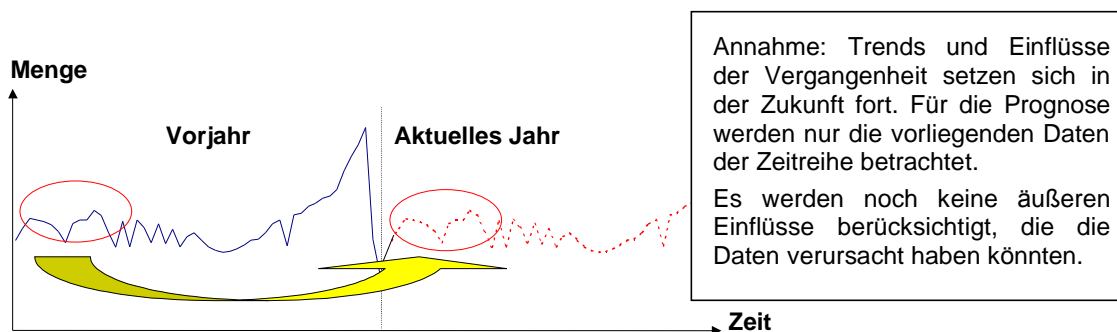


Abb. 3: Grundprinzip explorativer Verfahren

Die Klasse der kausalen Methoden berücksichtigt nicht nur die Daten der Zeitreihe. Vielmehr werden die Gründe für die Schwankungen der Zeitreihe gesucht und deren Mengenwirkung, z. B. mit der Hilfe der Regression, ermittelt (vgl. Abb. 4). Die lineare Regression versucht, eine abhängige Variable (im vorliegenden Fall die Wochenverkehrsmenge) durch eine oder mehrere unabhängige Variablen (Einflussfaktoren wie Ferien, Feiertage etc.) zu erklären (vgl. [1], S. 129-146 und [2], S. 1-44). Bei der Erstellung einer Prognose werden die zukünftig

auftretenden Einflüsse dann wieder zusammengesetzt. Dadurch kann berücksichtigt werden, dass Einflüsse sich zeitlich gegeneinander verschieben und sich in ihrer Intensität ändern.

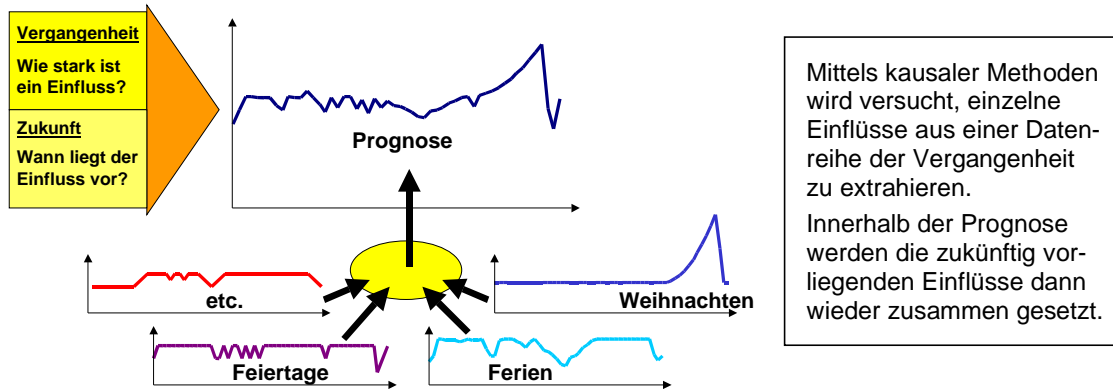


Abb. 4: Grundprinzip kausaler Verfahren

Zur Prognose der wöchentlichen Menge an Paketen bei der Deutschen Post eignen sich kausale Methoden wesentlich besser, da explorative Methoden voraussetzen, dass der gesamte Verlauf in der Vergangenheit sich auch in der Zukunft fortsetzt. Prägende Einflüsse wie Feiertage, Ferien, Katalog-Verschickung großer Versandhäuser etc. verschieben sich aber von Jahr zu Jahr und können daher nur kausal berücksichtigt werden. Ein weiterer Punkt ist die Vielzahl von Einflüssen, die eine einfache Mittelwertbildung oder Glättung niemals gleichzeitig in vollem Umfang berücksichtigen kann. Als geeignet hat sich daher die multiple lineare Regression herausgestellt. Wesentliche Vorteile dieser Methode bestehen unter anderem darin, dass sie über die Einflussfaktoren das Erfahrungswissen des Disponenten optimal abbildet und Wissen über die Zukunft einbeziehen kann. Eine über die Jahre wechselnde Überlagerung von Einflüssen kann somit selbstlernend in den Verkehrsmengenprognosen quantifiziert werden. Die bisher in einigen Paketzentren eingesetzten explorativen Methoden lieferten über viele Wochen hinweg gute Ergebnisse, versagten aber bei geänderter Konstellation mehrerer Einflussfaktoren.

3.4. Multi-Einflussfaktoren-Prognose

Die Auswahl und die Modellierung der Einflussfaktoren verursachen bei der Anwendung der multiplen linearen Regression erheblichen Aufwand, weshalb dieses Prognoseverfahren eher zur möglichst genauen Prognose der wichtigsten Produkte bzw. Artikel eines Unternehmens eingesetzt wird. Als erstes werden auf der Basis theoretischer und sachlogischer Überlegungen ein oder mehrere Regressionsmodelle formuliert. Im vorliegenden Fall wurde durch Gegenüberstellung der Zeitreihe mit einem Kalender sowie durch Befragung der zuständigen Planer festgestellt, dass es eine Vielzahl an Einflussfaktoren gibt. Im Regressionsmodell können die saisonalen Einflüsse entweder durch sog. binäre Dummyvariablen oder durch eine geeignete Kombination trigonometrischer Funktionen abgebildet werden (vgl. [3], S. 86-90). Binäre Dummyvariablen, die im vorliegenden Fall verwendet wurden, nehmen in einer Periode (Woche) den Wert 1 an, wenn der betreffende Einflussfaktor sich in dieser Periode in voller Intensität auf die abhängige Variable (Verkehrsmenge) auswirkt. Ein Beispiel: Angenommen, ein Einflussfaktor bildet einen Feiertag ab. Dann hat dieser Einflussfaktor in 51 Wochen des Jahres den Wert Null. In der Woche, in der der Feiertag sich auf die Sendungsmenge auswirkt, nimmt der Faktor dann den Wert 1 an. Für das vorliegende Prognoseproblem wurden die meisten Feiertage und feiertagsähnliche Tage als binäre Dummyvariablen abgebildet. Für die Abbildung komplexerer Einflüsse wie z. B. der Sommerferien wurde die [0;1]-Skala der Dummyvariablen erweitert.

Nachdem mit Hilfe der Regressionsanalyse Schätzwerte für die Regressionskoeffizienten ermittelt wurden, wird anhand verschiedener Gütemaße überprüft, wie gut das Modell die Realität abbildet (vgl. [2], S. 9-44). Die globale Prüfung der Regressionsfunktion ergab einen sehr hohen Wert für das korrigierte Bestimmtheitsmaß ($R^2_{\text{KORR}} = 0,993$). Der F-Test bestätige

mit einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von 0,995, dass die Regressionsfunktion auch über die Stichprobe hinaus zur Prognose geeignet ist. Weiterhin werden die Regressionskoeffizienten einzeln überprüft, wie gut sie zur Erklärung der abhängigen Variable (Wochenverkehrsmenge) beitragen. Die Prüfung der über 50 Koeffizienten ergab, dass abhängig vom jeweiligen Paketzentrum einige Koeffizienten den t-Test nicht bestehen bzw. dass innerhalb des Konfidenzintervalls des Koeffizienten ein Vorzeichenwechsel liegt. Die Ursache dafür ist, dass z. B. regionale Feiertage wie *Allerheiligen* oder *Heilige 3 Könige* in vielen PZs keinen Einfluss auf die Menge der eingelieferten Sendungen haben. Folglich ist auch der Schätzwert für den Regressionskoeffizienten verhältnismäßig klein und unzuverlässig.

Normalerweise sind Koeffizienten aus der jeweiligen Regressionsgleichung zu entfernen, wenn sie keine (sachlogische) Rolle spielen und die Prüfung zeigt, dass sie keinen nennenswerten Beitrag zur Erklärung der Zeitreihe leisten. Bezogen auf alle regionalen Einflüsse würde das zu einer unüberschaubaren und mit hohem Pflegeaufwand verbundenen Variantenvielfalt bei den Regressionsmodellen führen. Hinzu kommt, dass in einem PZ die Zahl der abgehenden Sendungen nicht von demselben Set an Einflussfaktoren abhängt wie die Zahl der aus dem gesamten Bundesgebiet eingehenden Sendungen. Zu einer weiteren Vergrößerung der Variantenvielfalt kommt es, weil samstags aufgrund der geringeren Sendungsmenge die Bearbeitung in einigen wenigen PZs zusammengefasst wird. Fällt nun ein Feiertag auf einen Samstag, so ist der Einflussfaktor in einem PZ ohne Samstagsbearbeitung Null, während er in einem PZ mit Samstagsbearbeitung ungleich Null ist. Um die Vielfalt an Regressionsmodellen überschaubar zu halten, wird unter Inkaufnahme eines geringen Verlusts an Prognosegenauigkeit in allen PZs das gleiche Set an Einflussfaktoren verwendet. In ihren Einzelwerten sind die Einflussfaktoren jedoch individuell an die lokalen Gegebenheiten angepasst.

Neben der globalen Prüfung des Modells und der Einzelprüfung des Koeffizienten ist das lineare Regressionsmodell auch auf die Einhaltung der Prämissen zu prüfen (vgl. [2], S. 33). Dazu gehört auch die Untersuchung der Einflussfaktoren auf Multikollinearität. Diese liegt vor, wenn ein Einflussfaktor als Linearkombination eines oder mehrerer anderer Einflussfaktoren dargestellt werden kann. Ein gewisser Grad an linearer Abhängigkeit besteht bei empirischen Daten immer. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die aufgrund der sehr großen Zahl an Einflussfaktoren auftretende Multikollinearität nur bedingt durch eine Vergrößerung des in die Regression eingeschlossenen Zeitraums (Stichprobenumfang) verringert werden konnte. Einerseits liegen nicht genügend Vergangenheitsdaten vor und andererseits weisen die vorliegenden Daten Strukturbrüche auf. Der Zugewinn an Prognosegenauigkeit durch einen vergrößerten Stichprobenumfang wurde zum Teil durch die geringe Aussagekraft älterer Daten überkompensiert.

3.5. Prognosebasierte Personalbedarfsplanung

Um das anhand eines Prototypen getestete Regressionsmodell zur Ressourcenplanung in den Paketzentren einsetzen zu können, wird eine geeignete Software benötigt. Eine Untersuchung ergab, dass die am Markt verfügbare Standard-Prognose- bzw. -Planungssoftware nicht geeignet war, das Regressionsmodell mit über 50 Einflussfaktoren und die weiteren Planungsschritte abzubilden. Daraufhin wurde am Fraunhofer-Anwendungszentrum Paderborn ein Software-Tool entwickelt und bundesweit in allen 33 Paketzentren eingeführt (vgl. Abb. 5). Das Prognose-Tool wurde in die vorhandene IT-System-Landschaft eingebettet und deckt sämtliche Schritte der Personalbedarfsplanung ab. Es prognostiziert automatisch die zu erwartende Wochenverkehrsmenge der maschinenfähigen Sendungen und teilt diese mit einem aus den Vergangenheitsdaten berechneten oder vom Nutzer eingegebenen Wochenprofil auf Tage auf. Ein entscheidender Vorteil des Regressionsmodells ist, dass die Einflussfaktoren wie Feiertage und Ferien bereits lange im voraus bekannt sind und somit für mehrere Wochen im voraus zuverlässige Prognosen erstellt werden können. Die so erstellten Tagesprognosen werden dann jeweils am aktuellen Tag um vorangekündigte Mehr- und Mindermengen (zusätzliche Einlieferungen von Großkunden etc.) ergänzt. Die Prognose der anderen Sendungsströme in Abhängigkeit vom Hauptsendungsstrom, mit dem diese stark korrelieren, wird ebenfalls vom Prognose-Tool unterstützt.

Wochenübersicht							
Nahverkehrsleistungen	2007-2008	01.07.2007	02.07.2007	03.07.2007	04.07.2007	05.07.2007	06.07.2007
Jahr	KW	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa
2007	27	57.186	66.179	71.744	66.214	60.199	22.294
2007	28	63.894	68.977	67.270	71.449	63.425	23.455
2007	29	66.025	68.977	60.542	62.104	60.607	10.260
2007	30	65.029	75.876	60.642	62.365	67.305	23.725
2007	31	0	0	0	0	0	0
2008	01	0	0	0	0	0	0
Wochenquote		6,1%	18,8%	19,7%	20,4%	19,5%	6,4%
Personen		50.373	68.162	71.425	72.063	67.434	23.204
Referenz		0	0	0	0	0	0
Prognose Grundmenge		50.373	68.162	71.425	72.063	67.434	23.204
Progn. Grundmenge, Ist		nd	nd	nd	nd	nd	nd
+ Nicht-Minderungen		0	0	0	0	0	0
- Rückstände s. Infop.		0	0	0	0	0	0
- Infop.		200	200	200	200	200	100
- Summe		50.573	68.362	71.625	74.863	67.634	23.304
+ Summe entz. Infop.		50.373	68.162	71.425	72.063	67.234	23.104
+ Differenzstellen		3.100	3.413	3.600	3.700	3.600	1.200
+ Summe Vorwoche		41.000	73.775	75.425	77.000	73.200	24.500
WVF		1.250	1.250	1.250	1.250	1.250	1.250

Abb. 5: Die Wochenübersicht im Prognose-Tool

Nach Fertigstellung der Tages- bzw. Wochenprognosen für alle Sendungsströme werden auf dieser Basis die benötigten Personalstunden für die einzelnen Tätigkeitsfelder in der Produktion wie z. B. Ausladen und Auflegen von Sendungen geplant werden. Der Personalstundenbedarf in jedem Tätigkeitsfeld ergibt sich als Produkt aus einer Leistungskenngröße (Stunden je 1.000 Sendungen) und der prognostizierten Anzahl an Sendungen, die in diesem Tätigkeitsfeld zu bearbeiten ist. Die berechneten Personalstundenbedarfe nach Tätigkeiten stellen die Basis für eine detailliertere Schichtplanung nach Zeiten und Qualifikationen dar. Insbesondere bei Tätigkeitsfeldern mit besonderen Qualifikationsanforderungen wie z. B. der Adresscodierung hat sich herausgestellt, dass die sehr genauen Prognosen eine deutliche Verbesserung der Personalplanung bewirkt haben.

3.6. Prognosebasierte Transportplanung

Aufbauend auf den Erfahrungen aus der prognosebasierten Personalbedarfsplanung entwickelt das Fraunhofer-ALB eine Methodik zur Prognose und Planung des für die Beförderung der Sendungen zwischen den Paketzentren täglich benötigten Transportvolumens (= Anzahl Container). Durch eine genaue Prognose der Containerzahlen lassen sich erhebliche Einsparpotenziale erzielen. Grundlage für die Planung ist auch hier die prognostizierte und mittels Wochenprofil auf Tage aufgeteilte Wochenverkehrsmenge. Für den Fernverkehr sind jedoch einige zusätzliche Anforderungen zu berücksichtigen:

- Die auf einer Relation (Relation = Verbindung vom Abgangs- zum Eingangs-Paketzentrum) zu transportierende Menge ist erheblich kleiner als die insgesamt bearbeitete Menge. Die Zeitreihe ist daher nicht geeignet, um direkt über ein exploratives oder kausales Verfahren prognostiziert zu werden.
- Um die Einzeltransportaufträge des gesamten Netzes zu optimieren, findet die (eigentliche) Transportplanung bereits am Vortag statt. Zu diesem Zeitpunkt liegen wesentlich weniger Informationen über zu erwartende Mehr- und Mindermengen (Einlieferungen von Großkunden etc.) vor. Dieses Informationsdefizit in Bezug auf die nicht prognostizierbaren Sendungsströme ist auszugleichen, um die Zahl der nachträglichen Stornierungen und Mehrbedarfe möglichst klein zu halten.
- Um die pünktliche Auslieferung der Sendungen am nächsten Tag sicherzustellen (Erreichen des Qualitätsziels), verlassen die ersten Transporte in weiter entfernte Regionen das Paketzentrum relativ früh (sog. Vorabzug). Für die Planung ist die Zahl der für den Vorabzug benötigten Container und die Zahl der nach dem Vorabzug noch bearbeiteten Sendungen für diese Relation zu prognostizieren (sog. Schlussabzug).

- Da bei der Transportplanung das benötigte Gesamt-Transportvolumen von Interesse ist, sind neben den Sendungsmengen zusätzlich die auf den einzelnen Relationen zum Teil sehr unterschiedlichen durchschnittlichen Sendungsvolumina zu berücksichtigen.

Die Analyse des Sendungsaufkommens hat ergeben, dass sich die Sendungsmengen auf den einzelnen Relationen hinreichend genau über relations- und wochentagsspezifische Profile, die als Mittelwerte über die letzten ca. 6 Referenzwochen (Wochen mit ähnlichem Einlieferungsverhalten) gebildet werden, aus der prognostizierten Wochenverkehrsmenge berechnen lassen. Unter Beachtung des typischen zeitlichen Einlieferungsverhaltens der Kunden und der durchschnittlichen relationsspezifischen Füllgrade der Container können so die Transportbedarfe für Vor- und Hauptabzüge prognostiziert werden.

4. Fazit

Kausale Prognoseverfahren, insbesondere die multiple lineare Regression, bieten eine Reihe von Vorteilen gegenüber explorativen Verfahren bei der Prognose von Zeitreihen, die von mehreren wiederkehrenden Einflussfaktoren abhängen. Der erhöhte Analyse- und Prognoseaufwand lohnt sich vor allem in einem Logistiknetzwerk oder einer Supply Chain, da hier die erzielbaren Einsparpotenziale größer sind. Das Regressionsmodell bietet zudem die Möglichkeit, das Prognose-Wissen der Mitarbeiter, die bereits seit längerem für die betreffenden Zeitreihen Prognosen erstellen, in den Einflussfaktoren abzubilden und damit allen verfügbar zu machen.

Trotz der bewussten Inkaufnahme einiger Einschränkungen bei den über 50 Einflussfaktoren und der Qualität der Vergangenheitsdaten ist es möglich, sehr gute Prognosegenauigkeiten zu erzielen. In dem vorgestellten Anwendungsfall hat sich das Prognosemodell bewährt. Weitere denkbare Einsatzgebiete für ein solches Prognosemodell wären Stromproduzenten, Brauereien, Airlines, die Deutsche Bahn oder andere Dienstleister, die täglich großen Nachfrageschwankungen unterliegen.

Literatur

[1] Makridakis, S., Reschke, H., Wheelwright, S. C., **Prognosetechniken für Manager**, Gabler, Wiesbaden, 1980.

[2] Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., Weiber, R., **Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung**, 9., überarb. und erw. Aufl., Springer, Berlin, 2000.

[3] Tempelmeier, H., **Material-Logistik: Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und -steuerung und das Supply Chain Management**, 4., überarb. und erw. Aufl., Springer, Berlin, 1999.