

Sebastian Heger

**Supply Chain- und Netzwerkmanagement, Technische Universität
Darmstadt**

**Predictive Analytics in der Verkehrszentrale einer
Fluggesellschaft**

Einleitung

Die Reduzierung von Flugverspätung gewinnt seit Jahren zunehmend an Bedeutung für Fluggesellschaften, da auf Grund des weltweit zunehmenden Luftverkehrs die Lage am Himmel und Boden immer komplexer wird. Insbesondere in den Planungsphasen haben es Methoden aus dem Bereich Operations Research bereits möglich gemacht, robuste und stabile Flugpläne zu gestalten. Auch im Bereich Störungsmanagement können Verkehrszentralen der Fluggesellschaften schwere Störereignisse mittlerweile besser handhaben. Mit einer proaktiven Handlungsweise und einem Predictive Analytics basierten Entscheidungsunterstützungssystem sollen zukünftig noch mehr Verspätungen aufgrund aufkommenden Störungssituationen bereits frühzeitig erkannt und reduziert werden.

Störungsmanagement	Planungsrobustheit	Predictive Analytics
<ul style="list-style-type: none">• Integrierte Optimierung• Schnelle, heuristische Lösungsverfahren•	<ul style="list-style-type: none">• Stochastische Optimierung• Simulation•	<ul style="list-style-type: none">• Warnung von Verspätungen• Hinweise auf technische Defekte• 

Forschungsfelder im Bereich der Verkehrszentrale

Derzeit existiert dafür (noch) kein kommerzielles Tool, obwohl die Forschungsarbeiten in den letzten zehn Jahren in diesem Bereich bereits erste, vielversprechende Ergebnisse geliefert haben.

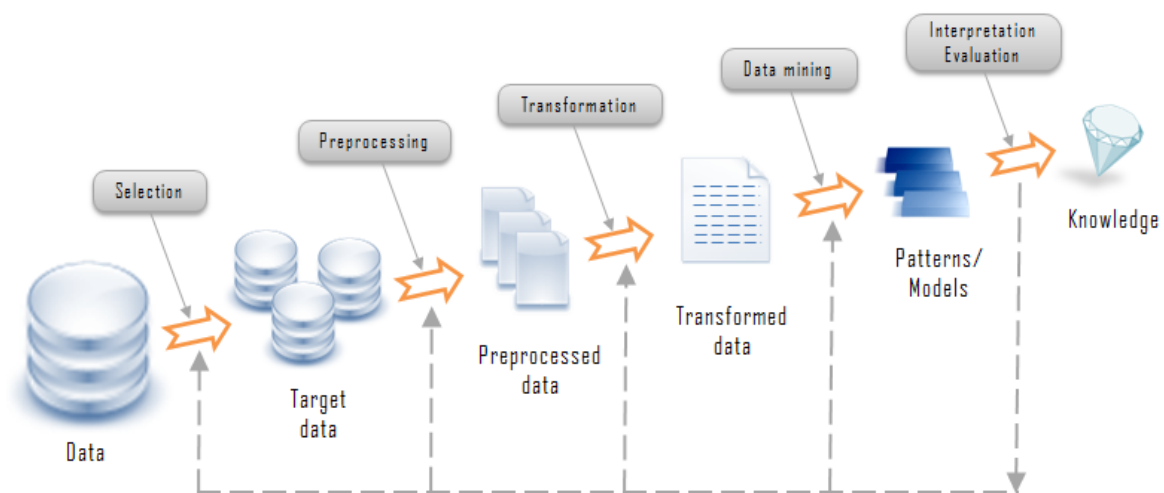
In den folgenden Kapiteln sollen zuerst neben den Grundlagen im Bereich Predictive Analytics auch ein Verständnis für die Arbeit in Verkehrszentrale vermittelt werden. Darüber hinaus werden Vorgehensweise und Ergebnisse einer aktuellen Fallstudie zur Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems (DSS) im Rahmen einer Forschungskoooperation dargestellt, sowie die Vision einer tragfähigen, praxiserprobten Lösung aufgezeigt.

1 Predictive Analytics – Definitionen und Konzepte

DEFINITION

Predictive Analytics beschreibt eine Vielfalt von Techniken zur Entwicklung von Modellen, die dazu genutzt werden können, um zukünftige Ereignisse oder Verhaltensweisen basierend auf historischen Beobachtungen vorherzusagen.

Mit Predictive Analytics kann also Wissen über die Zukunft (Vorhersagen) erzeugt werden. Dabei orientieren sich die Techniken zur Wissensgenerierung am sogenannten Knowledge Discovery Prozess aus dem Data Mining.

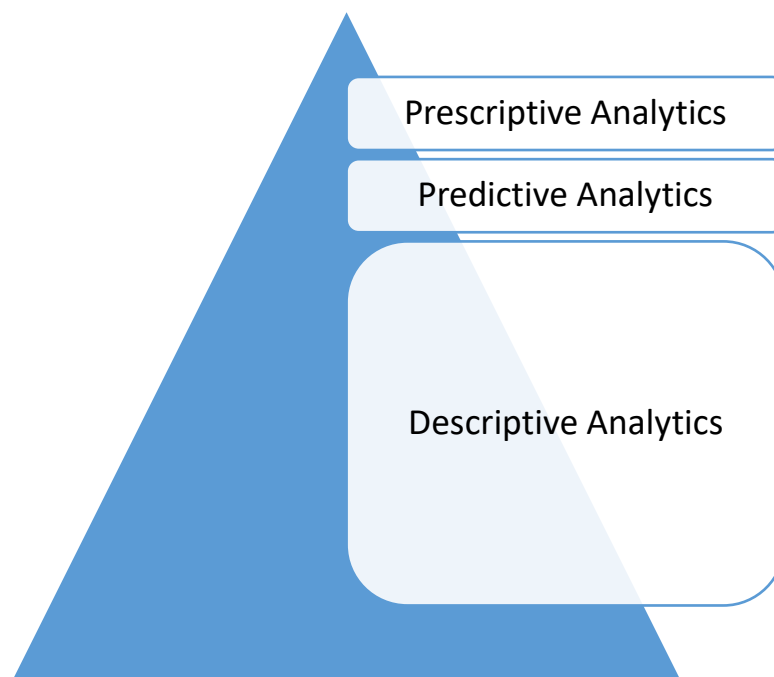


Grafische Darstellung des Knowledge Discovery Process. (Quelle: <http://www.rithmeeu/img/KDprocess.png>, Zugriff am 06.10.2016 um 11:15)

Die für einen Anwendungsfall relevanten Daten befinden sich häufig in einer großen Datenbank, so dass zuerst die relevanten Daten selektiert werden müssen. Diese selektierten Daten müssen darauf hin zunächst von Fehlern und Rauschen bereinigt werden, bis im nächsten Schritt die Daten dann für den Anwendungsfall aggregiert werden (z.B. kann aus der Anzahl der Sitzplätze und der gebuchten Passagiere der Sitzladefaktor berechnet werden). Im eigentlichen Data Mining Schritt werden nun aus den Daten Muster erzeugt, die sich mit einem Modell beschreiben lassen (z.B. Ent-

scheidungs­bäume oder neuronale Netze). Diese Modelle liefern nun Wissen über die Daten. Im Falle von Predictive Analytics also Wissen über die Zukunft, wenn man diese Muster auf zukünftige Ereignisse anwendet.

Zu beachten ist aber, dass sich die Methoden von Predictive Analytics voraussetzen, dass man zuvor das System, für das man Vorhersagen machen will, erst einmal umfangreich verstanden und beschrieben haben muss (Descriptive Analytics).



Analytics Pyramide. (mit geringfügigen Änderungen aus Quelle: <http://www.ada.rwth-aachen.de/cms/ada/~enfu/Forschung/>, Zugriff am 06.10.2016 um 12:49)

Auf der Spitze des „Analytics Eisberges“ steht dann noch die Prescriptive Analytics, bei denen dann untersucht wird, wie das gewonnen Wissen möglichst gewinnbringend in Unternehmensprozesse eingesetzt werden kann.

2 Die Verkehrszentrale einer Fluggesellschaft

Die Hauptaufgabe der Verkehrszentraler einer Fluggesellschaft ist sicherzustellen, dass die Einsatzpläne von Crew, die Umlaufpläne und Wartungsereignisse von Flugzeugen und die Umsteigeverbindungen von Passagieren eingehalten und planmäßig durchgeführt werden. Bei Störungen (wie z.B. Streiks oder die Schließung eines Flughafens aufgrund einer Schlechtwet-

tersituation) sorgen die Mitarbeiter in der Verkehrszentrale dafür, die Auswirkungen für die Passagiere möglichst gering zu halten und als bald wie möglich wieder zum Regelbetrieb zurückzukehren.

Dabei ist die Verkehrszentrale in der Regel in fünf Gruppen von Anwendern organisiert:

- **Verkehrsleitung**

Die Verkehrsleitung ist der zentrale Ansprechpartner in der Verkehrszentrale für die an der Flugdurchführung beteiligten Parteien. Sie kommunizieren Entscheidungen wie Streichungen und Verspätungen in die Außenwelt und stehen in regelmäßigen Kontakt zum Flughafen und der Flugsicherung. Darüber hinaus treffen Sie innerhalb der Verkehrszentrale gruppenübergreifende Entscheidungen, indem Sie verschiedene Aspekte (z.B. Verspätung oder Flugzeugwechsel) gegeneinander abwägen.

- **Flugzeugeinsatzplanung & Wartung**

Damit jeder Flug mit einem funktionsfähigen und geeigneten Fluggerät durchgeführt werden kann, plant der Flugzeugeinsatz für jedes Flugzeug entsprechende aufeinanderfolgende Flüge und die regelmäßigen Wartungsereignisse (z.B. 48h Stunden Checks) sowie kurzfristige und außerplanmäßige Wartungsereignisse (z.B. Toilettenreparatur) ein.

- **Creweinsatzplanung**

Der Creweinsatz steht im Kontakt mit dem Personal in Cockpit und Kabine und sorgt zum Beispiel dafür, dass auch im Falle einer Krankmeldung für einen Flug ausreichend notwendiges und für den Flugzeugtyp ausgebildetes Personal zur Verfügung steht.

- **Flugwegplanung (Dispatch)**

Dispatch übernimmt im Vorlauf an die Durchführung die Flugwegplanung entlang der Wegpunkte, dessen Abstimmung mit der Flugsicherung. Zugleich umfasst deren Aufgabenbereich die fristgerechte Zurverfügungstellung der Unterlagen zum Briefing des Personals, zur Beladung (Weight and Balance) und zur Betankung des Flugzeugs.

Bei Luftraumsperrung oder Gewittern werden alternative Flugwege berechnet und den Piloten zur Verfügung gestellt.

- **Stationsmanagement & Passagiersteuerung**

Damit ein Flugzeug nach der Landung wieder möglichst pünktlich abheben kann, kümmert sich das Stationsmanagement um einen planmäßigen Turnaround, d.h. sie überwachen und steuern Be- und Entladung, Reinigung, Catering und Betankung des Flugzeuges. Falls Anschlussreisende ihren Flug verpassen sollten, werden für Sie durch die Passagiersteuerung entsprechende Maßnahme wie Umbuchungen und Übernachtungen organisiert.



Die folgende Grafik zeigt nochmal die Einbettung der Verkehrszentrale am Ende der Planungsprozesse:



Darstellung der Planungsabteilungen und Verkehrszentrale (eigene Darstellung)

Dabei spielt die Arbeitsweise in einer Verkehrszentrale eine besondere Rolle, wenn untersucht werden soll, in wie weit ein DSS zur Unterstützung beitragen kann. Im Folgenden sollen zwei extreme Arbeitsweisen dargestellt werden, um dieses Spannungsfeld zu veranschaulichen.



Reaktive Handlungsweise	Proaktive Handlungsweise
Es werden nur alle notwendige Änderungen auf den bereits durch die Planung optimierten Flugplan durchgeführt	Es werden ständig kleinere Optimierungen des Flugplans durchgeführt, um sich an geänderten Umweltfaktoren anzupassen
Kosten spielen eine untergeordnete Rolle, solange auftretende Probleme am Ende behoben werden.	Entscheidungsmöglichkeiten werden stets durch erwartetes Risiko und Kosten gegeneinander exakt aufgewogen
 Der Einsatz von Entscheidungsunterstützung ist limitiert	 Es existiert ein großer Bedarf nach Entscheidungsunterstützung

Insbesondere bei einer proaktiven Arbeitsweise ergibt sich ein umfangreiches Potential, das im nächsten Kapitel im Rahmen einer Fallstudie genauer untersucht werden soll.

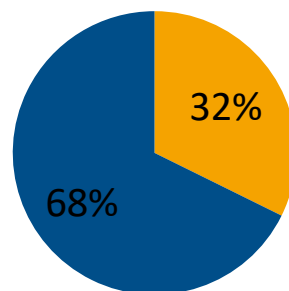
3 Fallstudie „Folgeverspätungen frühzeitig erkennen“

Im Rahmen einer Forschungskoooperation zwischen der TU Darmstadt und einer namhaften deutschen Airline, die ein Hub-and-Spoke System betreibt, wird der Einsatz von Predictive Analytics in der Verkehrszentrale untersucht. Dabei wurde als Fallstudie der Anwendungsfall „Folgeverspätungen frühzeitig erkennen“ selektiert, da sich hierbei ein großes wirtschaftliches Einsparungspotential ergibt. Eine Statistik aus den USA im

Jahre 2007 zeigt eindeutig, dass ein gutes Drittel der Verspätungen in zwei Sommermonaten aus einem bereits vorherigen verspäteten Flug übertragen wurde.

**Causes of departure delay at major US airports
(Jun+Aug 2007)**

- Aircraft Arriving Late
- Security, weather and other delays



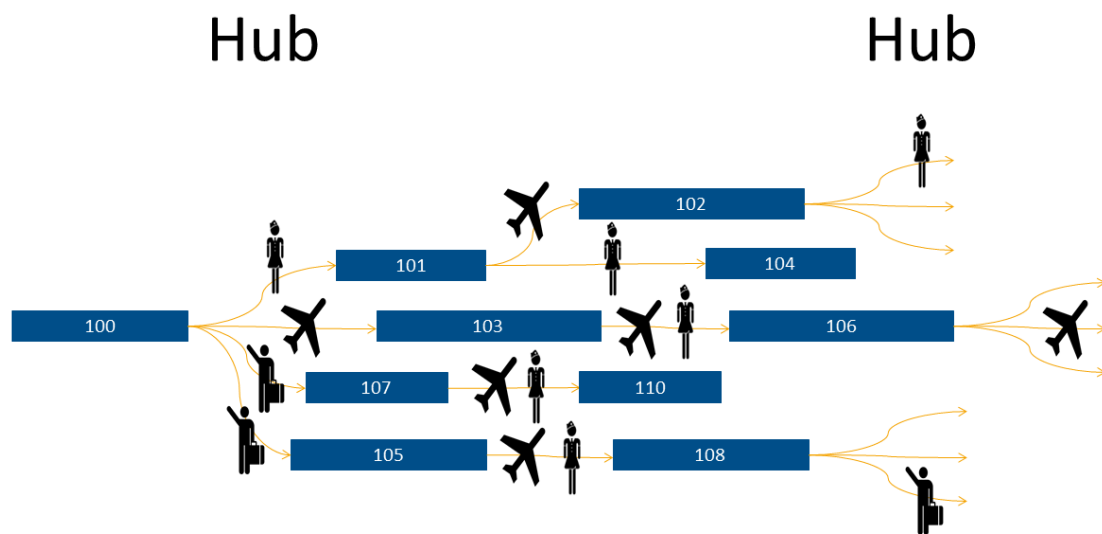
Verspätungsgründe an großen US Flughäfen in 2007⁴.

Dazu kommt, dass ebenfalls im Jahr 2007 alleine 4,3 Millionen Verspätungsstunden für inneramerikanische Flüge angefallen sind, die schätzungsweise Zusatzkosten in Höhe von 19 Milliarden Dollar verursacht haben⁵. Auch wenn für Europa keine vergleichbar belastbaren Zahlen vorliegen, ist die Verspätungssituation hier vergleichsweise ähnlich.

Insbesondere Hub-und-Spoke Fluggesellschaften sind von aufschaukelnden Verspätungssituationen betroffen, da am Hub umsteigende Passagiere und Crews Ankunftsverspätungen auf eine Vielzahl von weiteren Flügen übertragen können, wie nachfolgend Abb. 6 zeigt. Dies betrifft vor allem die Kurzstreckenflüge, da hier ein Flugzeug im Schnitt 5-8 Flüge am Tag durchführt.

⁴ Karisch, S. E.; Altus, S. S.; Stojkovic, G.; Stojkovic, M. (2012). "Chapter 6: Operations". In Barnhart, C.; Smith, B. (Hrsg.): "Quantitative Problems Solving Methods in the Airline Industry – A Modeling Methodology Handbook". S. 284. New York. Springer.

⁵ Schumer, C. E. & Maloney, C. B. (2008). Your flight has been delayed again: flight delays cost passengers, airlines, and the US economy billions. The US Senate Joint Economic Committee.

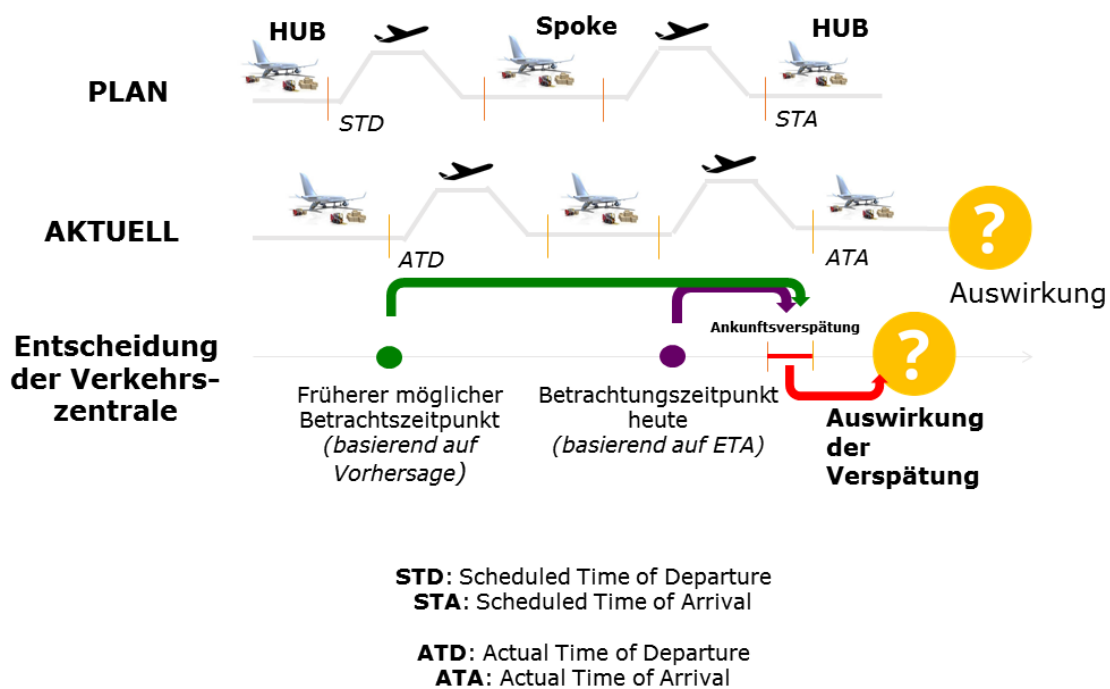


Verdeutlichung des Schneeballeffekts einer Verspätung in einem Hub-and-Spoke Netzwerk

Die Verkehrszentrale greift in der Regel mit verschiedenen Maßnahmen ein, um neben einfachen Verspätungen (Situation laufen lassen) dieser Problematik entgegenzuwirken. Diese sind im Folgenden (ohne Prioritäten) aufgelistet.

- Flugzeugwechsel
- Einsatz von Reserven (Flugzeugen und/oder Crews)
- Anpassung der Crewpläne, damit diese auf dem Flugzeug sitzen bleiben können
- Direkttransfer von Umsteigepassagieren (z.B. Bustransfer über das Vorfeld)
- Beschleunigung der Abfertigung etwa durch zusätzliches Personal und Ausrüstung
- Priorisierung von Flügen durch die Flugsicherung innerhalb der eigenen Flüge.
- Anfrage an den Piloten zur Erhöhung der Fluggeschwindigkeit
- Streichung von Flügen zur Schaffung von zusätzlichen Puffern

Derzeit werden solchen Maßnahmen allerdings auf Grund der hohen Volatilität erst relativ spät evaluiert.



Anpassung des Entscheidungszeitpunktes durch eine frühere Vorhersage.

Heute werden die Auswirkungen von Verspätung am Hub basierend auf einer errechneten ETA (Estimated Time of Arrival) beurteilt. Diese ist in der Regel nach Off-Block am Spoke verfügbar. Allerdings erlaubt dieser Zeitpunkt nur noch eine eingeschränkte Menge von Optionen, um die Verspätung zu reduzieren oder gar zu verhindern. Zu einem früheren Zeitpunkt wären deutlich mehr und günstigere Optionen verfügbar. Wenn die Genauigkeit einer Vorhersage ausreichend gut wäre, würde auch schon eine frühere, proaktive Maßnahme in Betracht gezogen werden.

4 Prototypische Implementierung & Ergebnisse

Für die Implementierung einer prototypischen Anwendung wurde im Forschungsprojekt der Hub-und-Spoke Fluggesellschaft auf den Fall zurückgegriffen, dass Flüge immer in Paaren (Flug 1 Hub-Spoke und Flug 2 Spoke-Hub) betrachtet werden kann, an den Spoke Station in der Regel keine Reserven zur Verfügung stehen, nur wenige Passagiere umsteigen und auch selten größeren Einfluss auf die (externe) Abfertigung genommen werden kann. Als Methode wurde auf die transparenten Assoziationsregeln

zurückgegriffen, da diese eine Reihe von Vorteilen besitzt. Ausschlaggebender Vorteil ist jedoch die Transparenz der geschaffenen Regeln.

ASSOZIATIONSREGEL

Wenn Bedingung Dann Konsequenz

Beispiel: **Wenn** Flug 1 ein De-Icing hatte, **dann** kommt Flug 2 auf jeden Fall 10 Minuten verspätet an.

Um solche Regeln zu generieren, bedient man sich aus den Daten des Data-warehouse. Die folgende Tabelle stellt einen fiktiven Ausschnitt daraus da:

Datum	Flugpaar	Passagiere (Total)	De-Icing F1	Abflugverspätung F1	Ankunftsverspätung F2	...
1.1.2016	1 / 2	200	Ja	0	0	...
1.1.2016	3 / 4	320	Nein	0	5	...
2.1.2016	1 / 2	320	Nein	10	0	...
2.1.2016	3 / 4	320	Nein	5	5	...
3.1.2016	1 / 2	330	Ja	20	10	...
3.1.2016	3 / 4	340	Ja	5	10	...
4.1.2016	1 / 2	340	Ja	10	15	...
4.1.2016	3 / 4	340	Nein	20	15	...
...

Um beim oben genannten Beispiel zu bleiben, können wir die Relevanz unsere Beispielregel nun mittels zweier Kriterien bestimmen:





- **Support** (Relevanz der Regel)
- **Confidence** (Richtigkeit der Regel)

Anhand des Ausschnittes der Datenbank ergibt sich ein Support von $\frac{3}{8}$, da es insgesamt 8 Datensätze gibt und bei drei Datensätze (5,6 und 7) Bedingung und Konsequenz übereinstimmen. Der Confidence beträgt $\frac{3}{4}$, da es noch Datensatz 1 gibt, bei dem aus der Bedingung nicht die Konsequenz folgt.

Mit dem nun vorgestellten Konstrukt wurde ein Algorithmus entwickelt, der auf der Datenbank der Fallstudien-Fluggesellschaft nun alle relevanten

Verspätungsmuster sucht und die Kombination an Mustern auswählt, die zur Erklärung am besten geeignet ist. Denn für jeden Anwendungsfall werden prinzipiell hunderte Regeln gefunden, die sich auf Grund von Abhängigkeiten der Attribute natürlich überschneiden.

Im Folgenden sind nochmals die Charakteristika der Fallstudiengröße aufgezeigt.

Scenario Description:		Flight Attributes (exemplary):	
Airline:	German Carrier		<u>Aircraft Information</u> Fleet, Seat Configuration, ...
Hub and Spoke Network:	yes		<u>Passenger Information</u> Eco/Bus, Wheelchairs, ...
Year:	2013 (training) 2014 (validation)		<u>Airport Information</u> Parking Position, Runway, ...
Traffic Areas:	Domestic, Europe, Near East and North Africa		<u>Schedule Information</u> Scheduled Ground time, Departure Delay, Weekday, ...
Aircraft Types:	Airbus A320Family		
Attributes per Flight:	136		

Fallstudien­daten aus dem Jahr 2015


Zur Auswertung der gefundenen Regeln werden standardisierte statistische Maße herangezogen. Dies ist zum einen die sogenannte Confusion Matrix:

		Aktuell	
		Verspätet	Pünktlich
Vorhergesagt	Verspätet	TP	FP
	Pünktlich	FN	TN

und die daraus abgeleiteten Werte

- Precision = $TP / (TP+FP)$ [Richtigkeit]
- Recall = $TP / (TP+FN)$ [Treffergenauigkeit]

Die Ergebnisse der Fallstudie sind bereits in der ersten Iteration für einige ausgewählte Flughäfen vielversprechend. In der folgenden Tabelle werden beispielhaft drei Ergebnisse von verschiedenen Spoke-Airports präsentiert:

	Airport A (Spanien)	Airport B (Ukraine)	Airport C (Norwegen) 
Anzahl Regeln	2	3	2
Datensätze (Flugpaare)	1035	354	455
Precision	100 %	89 %	58 %
Recall	20 %	53 %	39 %

Am Beispiel von Flughafen A und B sehen wir, dass sich Richtigkeit und Treffergenauigkeit sich in der Regel konträr verhalten. Je größer die geforderte Genauigkeit, desto schlechter die Treffergenauigkeit. Gleichzeitig zeigt das Beispiel C, dass es auch Airports gibt, bei denen die ganze Vorhersage vermutlich nicht zufriedenstellend funktionieren wird. Aber dies alles wird ein praxisnaher Test der Applikation erst zeigen können.

Bemerkung: In den Beispielen kann leider nicht auf die genauen Regelformulieren eingegangen werden, da die Attribute zum Teil für einen Nicht-Anwender sehr komplex sein können. Es wird hier nochmal auf die exemplarischen Attribute in Abb. 7 referenziert.

5 Herausforderungen bei der Implementierung

Neben den allgemeinen Herausforderungen bei der Implementierung eines DSS haben solche Methoden auf der Basis von Predictive Analytics noch zusätzliche Problemkreise, die bei der Implementierung beachtet werden müssen.

Im Folgenden sollen zuerst die grundlegenden Herausforderungen aufgezeigt werden:

- **Zielsystem des Anwenders korrekt abbilden**

Wenn das DSS stets entgegen der Ziele des Anwenders Lösungsentscheidungen vorschlägt, kann es zu Akzeptanzprobleme und folglich zur Nicht-Nutzung des Systems kommen.

- **Persönliches Training und ausführliche Schulung der Anwender**

Verkehrsleiter benötigen ein ausführliches Training, um das System ausreichend zu verstehen und benutzen zu können. Denn der Einsatz

eines DSS verschiebt meistens den Fokus der Arbeitsweise von einem lösungserzeugenden Ansatz hin zu einem lösungs-analysierenden.

- **Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse**

Gerade für die Akzeptanz der Anwender ist die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse von großer Wichtigkeit. Lösungen „aus der Glaskugel“ bauen selten das Vertrauen der Anwender in das System auf.

- **Echtzeitberechnung & Qualität**

Berechnung des Systems sollten in der Regel nicht länger als der manuelle Entscheidungsprozess dauern. Abweichend davon kann die Berechnung ausnahmsweise auch länger dauern, falls sich die Lösung qualitativ signifikant verbessert.

- **Systemintegration**

Ein DSS sollte in die übrigen Applikationen der Verkehrszentrale nahtlos integriert werden können. Dies betrifft nicht nur die Benutzeroberfläche, sondern auch den Datenbestand und die Kommunikation mit anderen Systemen.

Darüber hinaus bestehen noch die zusätzlichen Herausforderungen der Predictive Analytics Methoden:

- **Stabilität der Berechnung**

Es muss sichergestellt werden, dass in einer volatilen Umgebung die Ergebnisse des Systems relativ stabil sind. Da einige Informationen und andere Vorhersagen (z.B. Wetter) gewissen Schwankungen und Rauschen unterliegen, sollten sich Ergebnisse unter dieser Volatilität nicht signifikant ändern.

- **Berechnungsgenauigkeit**

Anwender erwarten in der Regel eine sehr hohe Precision des Systems gekoppelt mit einem möglichst hohen Recall. Wenn ein System zu oft falschen Alarm gibt, sinkt die Nutzerakzeptanz. Es ist daher hilfreich, wenn ein System diese Werte mitloggen kann und bei entsprechender Schwellwertunterschreitung eine Wartung anfordert.

- **Zeitliche Interferenzen von Entscheidungen und Data-Mining**

Durch regelmäßiges Trainieren der Anwendung auf historischen Daten, um die sich ändernden Einflüsse korrekt einbeziehen zu können, können auch bisherige Entscheidungen mitgelernt werden und entsprechende Auswirkungen auf die Effektivität der Anwendung haben. Es kann passieren, dass Verspätungen zum Teil nicht mehr erkannt werden, da sie präventiv bereits reduziert wurden. Somit sind in der nächsten Iteration weniger Verspätung zum Trainieren da. Die Anwendung warnt dann nicht mehr und Verspätungen häufen sich wieder. Diesen „Teufelskreis“ sollte die Anwendung überwachen, um ggf. korrektiv in die Anwendung eingreifen zu können.

Die mitunter größte Herausforderung ist allerdings die Berechnung der Wirtschaftlichkeit einer solchen Anwendung. Um diese Herausforderungen zu meistern, wurde eine Vorgehensweise entwickelt, mit der sich eine sehr gute Abschätzung für die Wirtschaftlichkeit herleiten lässt:

1. Identifizierung der Häufigkeit vergangener operationeller Abweichungen anhand historischer Daten (z.B. Folgeverspätungen)
2. Kostenberechnung der operationellen Auswirkungen (z.B. Entschädigungszahlungen, zusätzliche Flughafengebühren, ...)
3. Ermittlung der erhöhten „Genauigkeit“ unter Einsatz des Systems (im Vergleich zum rein manuellen Prozess)
4. Ableiten von präventiven Handlungsmaßnahmen und deren Kosten
5. Berechne Einsparung als Erwartungswert: Durch erhöhte Genauigkeit können operationelle Abweichung öfter erkannt werden und durch Einsatz von präventiven Maßnahmen die Auswirkungen reduziert werden
6. Abwiegen von Implementierungs- und Betriebskosten gegen die erwarteten Einsparungen.

Das vorgestellte Rezept wurde derart generisch konzipiert, dass damit auch die Wirtschaftlichkeit andere Anwendungsfälle als dem der Folgeverspätung aus der Fallstudie bewertet werden können.

6 Zusammenfassung & Ausblick

In der nächsten Phase des Forschungsprojektes soll die Anwendung an die Software der Verkehrszentrale angeschlossen werden. Dies findet zunächst in der Testumgebung der Fluggesellschaft statt. Eine Integration in der Software könnte wie folgt aussehen:



Vision einer Integration der Anwendung in die Verkehrszentrale

Weiterhin wird an der Integration zusätzlicher Datenquellen wie Wetter, Umsteigepassagiere und Crewumsteiger gearbeitet. Auch könnte die Komponente mit anderen zu entwickelnden Komponenten zusätzliche Synergien schaffen, so dass zum Beispiel ein Optimierer automatisch im Hintergrund für eine vorhergesagte Verspätung Flugzeugtäusche durchführt und diesen Vorschlag dann dem Verkehrsleiter mit dem Hinweis zusammen präsentiert.

Insgesamt verspricht das Thema viel Scharm und man vermutet ein großes Potential. Da sich das ganze Thema noch in intensiver wissenschaftlicher Arbeit befindet und auch ein Paradigmenwechsel für die Praxis bedeuten würde, wird eine reibungslose Anwendung vermutlich in erst in einigen Jahren stattfinden.