

## **Simulation zur Entwicklung und Dimensionierung von Schichtmodellen**

### ***Use of Simulation for Development and Capacity Determination of Shift Models***

Harald Mutzke, Simulation Expert Services, Nürnberg (Germany),  
info@mutzke-ses.com

Gregor Blauermel, B416 GmbH & Co. KG, Cadolzburg (Germany),  
info@B416.de

**Abstract:** In the growing market of internet pharmacies, optimal working-time models are of vital importance. The flexible arrangement of working hours of the employees in the picking area was identified as the most effective parameter and was systematically optimised within this project. For this application it was important to create a discrete event simulation model, which established the lab environment for optimisation studies outside real time operation. To achieve high speed run-time behaviour, it was necessary to apply a high level of abstraction to the models in the optimisation suite, using evolutionary strategies. For data input into the model and the subsequent analysis, a SQL database connection was established. Graphically generated results were used for the communication of the new strategies. Results indicated shift and break patterns as well as customised headcount, which are currently tested in real operation. A methodological view to the transferability of the approach completes the paper.

## **1 Ausgangssituation**

Für Unternehmen im Apotheken-Internethandel – wie dem Partner im vorliegenden Projekt – werden bis 2020 zweistellige Wachstumsraten prognostiziert, u. a. durch Erhöhung des Anteils an rezeptpflichtigen Medikamenten (Nielsen 2012). Gleichzeitig erwarten die Kunden eine immer kleinere Zeitspanne zwischen Bestellen und Liefern. Lag die akzeptierte Versanddauer im Jahr 2013 bei drei bis fünf Arbeitstagen (BITKOM 2013), erwartet der Kunde heute den Paketeingang am nächsten Arbeitstag. Dies erfordert angepasste Arbeitszeitmodelle in der Bestellbearbeitung, die von den Mitarbeitern akzeptiert werden und gleichzeitig eine an die Menge und den Bestellzeitpunkt orientierte Schichtstärke (eingesetzte Mitarbeiter). Flexibilisierung findet bisher statt, indem kurzfristig (Leih-) Mitarbeiter eingestellt und Schichtmodelle wie gewohnt weiter genutzt werden. Damit wird Experimentieren

am Arbeitszeit-Modell vermieden, um den laufenden Betrieb und das zu bewältigende Wachstum nicht zu gefährden.

## 2 Problemstellung

Bei einer qualitativen Analyse der Bestellbearbeitung lassen sowohl die umgesetzte Artikelmenge als auch der Servicelevel Optimierungspotentiale erkennen, während Leerlaufzeiten des Personals die Kosten in die Höhe treiben. Um für die zukünftigen Anforderungen gerüstet zu sein, ist eine besser adaptierbare Wachstumsstrategie nach modernsten analytischen Methoden erforderlich.

## 3 Vorgehensweise

Um die Strategie zu entwickeln, wurde dieses Projekt aufgesetzt. An den Workshops waren je nach Bedarf unterschiedliche Experten beteiligt. Die Vorgehensweise orientiert sich an der VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1.

## 4 Prozessmodellierung

Das Prozessmodell wurde in Zusammenarbeit mit Projektbeteiligten im Zielfindungs-Workshop entwickelt und online in MS VISIO 2013 Professional umgesetzt. Dabei wurde die für diesen Kunden relevante Prozesstiefe festgelegt und zeitunkritische Schritte eliminiert (Abb. 1).

### 4.1 Workshop Datenaufbereitung

#### 4.1.1 Arbeitszeitmodell

Mit Belegschaft und Betriebsrat wurden geeignete Schichtmodelle entwickelt. Wesentliche Fragestellungen dabei waren:

- Ist Sonntagsarbeit möglich?
- Welche Schichtmodelle sind denkbar?
- Wie werden Überstunden gehandhabt?
- Werden Saisonarbeitskräfte beschäftigt?
- Gibt es Nachtarbeit?

#### 4.1.2 Auftragseingang

Zugrunde gelegt wurden die Auftragsdaten eines halben Jahres (Abb. 2). Bei der Analyse zeigten sich Wochenmuster und Tagesmuster.

- Wochenmuster: Spitzenwerte am Wochenanfang, Täler Ende der Woche.
- Tagesmuster: 70 % vor 13:00 Uhr. Kein Auftragseingang während der Nacht.
- Diese Gesetzmäßigkeiten wurden später bei der Anwendung von Schichtclustern verwendet (übereinstimmende Wochentage bildeten ein Cluster). Das zweistellige Wachstum war ebenfalls klar ersichtlich und folgte den bereits bekannten Mustern.

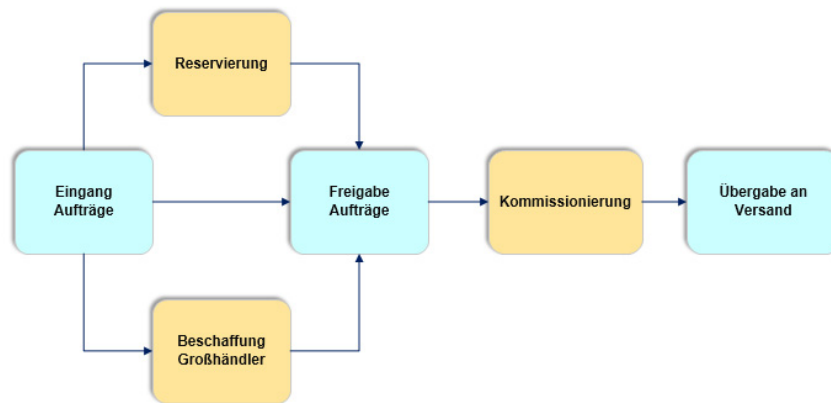


Abbildung 1: Prozessmodell

Um die Laufzeit für einen Simulationslauf zu reduzieren, wurden die einzelnen Aufträge zu Zeitscheiben verdichtet. Die Aufträge, die innerhalb einer Zeitspanne eingingen, wurden zu einem Paket zusammengefasst (vgl. Abschnitt Abstraktionsgrad).

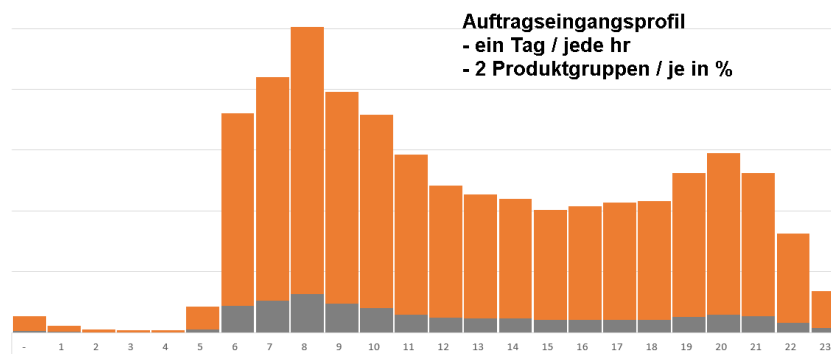


Abbildung 2: Auftragseingang

## 4.2 Modellierung

Bei der Erstellung des Simulationsmodells lag das Hauptaugenmerk auf folgenden Funktionalitäten:

- Unterschiedliche Mitarbeiterzahlen je Zeiteinheit sollen verglichen werden.
- Die Mitarbeiter sollen für unterschiedliche Zeitscheiben (z. B. Stunde, 4h-Teilschichten, ...) zu Pools zusammengefasst werden können.
- In der späteren Optimierung sollen die Zeitscheiben an-/abschaltbar sein.
- Gemäß dem Betriebskalender wurden relevante Liefertermine festgelegt.
- Zugrunde gelegt wurde das Prozessmodell, das alle mitarbeiterrelevanten Zeiten berücksichtigt (s. o.).

#### 4.2.1 Systemgrenzen

Das Modell beginnt mit dem Eintritt des Auftrags im Funktionsbereich „Kommissionierung“ und endet mit Übergabe an die Spedition.

#### 4.2.2 Abstraktionsgrad

Der Abstraktionsgrad ist entscheidend für die spätere Laufzeit des Simulationsmodells. Jeder Prozessschritt und seine Komplexität kosten Zeit und verlängern bereits den einzelnen Simulationslauf. Angesichts der hohen Anzahl an einzelnen Experimenten summiert sich jeder überflüssige Zeitbedarf in einer Optimierungsstudie schnell zu Stunden oder gar Tagen. Folgende Entscheidungen und Annahmen wurden getroffen:

- Bündelung von Aufträgen zu Zeitscheiben: Welches Zeitintervall ist ausreichend und genau genug? (1 min, 10 min, 1-h, 2-h oder 4-h oder 6-h Schicht ...)
- Bildung von Arbeitstag-Clustern: Wie lassen sich die Arbeitstage gruppieren? (Wochentage mit ähnlichem Auftragseingang)
- Für alle Mitarbeiter aller Schichten wird ein einheitlicher Produktivitätswert angenommen.
- Feiertage werden behandelt wie normale Arbeitstage.
- Die Kundenartikel stammen aus einer unendlichen Quelle, d. h. es gibt keine Versorgungsempässe.

Der vorgenommene Abstraktionsgrad hilft bei der Fokussierung der Studie auf den zentralen Sachverhalt.

## 5 Simulator Entwicklung

Abbildung 3 zeigt das Zusammenspiel zwischen der Inputdatengenerierung aus dem SQL-DB-Export), dem Simulator und dessen Output. Das VISIO Modell des Prozesses wurde mittels Process Simulator 2014 Professional vollautomatisch in ein ProModel Optimization Suite 2014 Simulationsmodell überführt. Dieser Simulator Prototyp wurde dann weiter verfeinert und in die Simulations- und Optimierungsumgebung integriert.

### 5.1 Workshop zur Validierung

Bei der Validierung wurden die simulierten Kennzahlen Servicelevel und Ausbringung mit dem Kennzahlen-Reporting des Unternehmens verglichen. Die Gegenüberstellung von Maßnahmen z. B. „mit und ohne erweiterte Kapazität in Stoßzeiten“ und deren gemessene Wirkung auf den Servicelevel wurde im Modell auf plausible Verhaltensmusteränderungen intensiv ausgetestet (Sensitivitätsanalyse). In einem Kunden-Experten-Workshop wurden veränderte Arbeitszeitmodelle und Schichtstärken gegenüber gestellt (Plausibilitätskontrolle). Zusätzlich wurden exemplarisch einzelne Aufträge zu kritischen Tageszeiten im Detail datentechnisch analysiert, grafisch aufbereitet und geprüft.

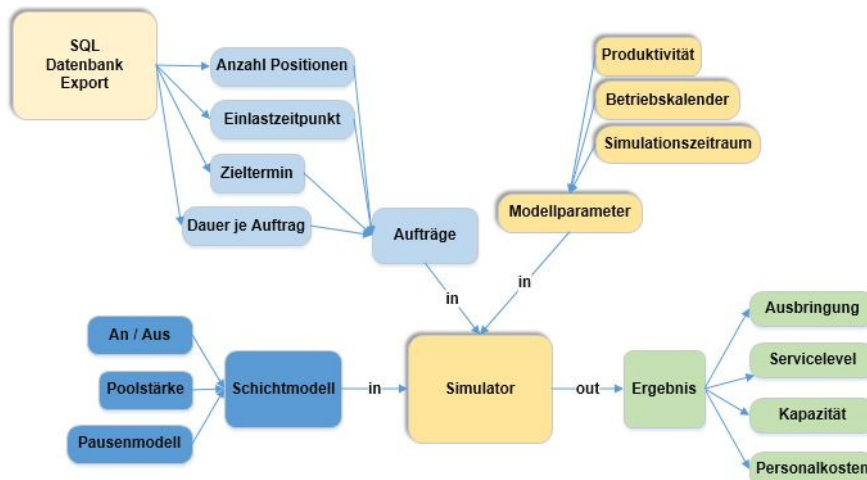


Abbildung 3: Ablauf Simulator-Entwicklung

## 5.2 Ergebnisse

Das Simulationssystem liefert am Ende jeder Simulation eine Datenbank mit allen gemessenen Kennzahlen des Geschäftsprozesses. Diese werden zur besseren Visualisierung in Histogrammen, Zeitverlaufskurven oder Tortendiagrammen dargestellt. Zusätzlich können Daten exportiert und in gängigen Statistikpaketen wie „R“ aufbereitet werden. Darüber hinaus werden sogenannte Log-Dateien vom Simulator geschrieben, um einzelne Auftragspositionen konkret zu analysieren. Damit steht ein umfassend geprüftes Simulationssystem für die Optimierung zur Verfügung.

## 6 Optimierer Entwicklung

Zweck einer Optimierung ist es, mit möglichst wenig zeitlichem Aufwand eine optimale Lösung für ein komplexes System zu finden. Im vorliegenden Fall ist das komplexe System im Simulationsmodell abgebildet (i. W. Simulator). Für die Lösungssuche wird eine Zielfunktion (s. u.) benötigt und der Lösungsraum (s. u.) für die Optimierung festgelegt, wie in Abbildung 4 skizziert ist.

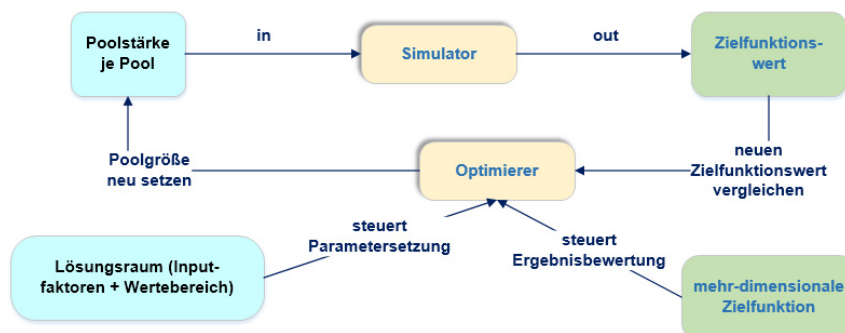


Abbildung 4: Ablauf Optimierer-Entwicklung

Die Optimierungssoftware (i. W. Optimierer), die alle notwendigen Informationen erhalten hat, ermittelt auf dieser Basis einen Startsatz der Mitarbeiterzahlen (Poolstärken). Mit diesen Werten wird das Simulationsmodell parametrisiert („gefüttert“) und nach einem ersten Simulationslauf der Wert der Zielfunktion berechnet und ausgegeben. Damit beginnt ein iterativer Prozess, in dem der Optimierer versucht, mithilfe des implementierten Algorithmus mit möglichst wenig Experimenten die optimale Kombination der Poolstärken und zusätzlich eine An- oder Abschaltung von Schichten zu ermitteln.

## 6.1 Eckdaten

Unterschiedliche Zielfunktionen verkürzen oder verlängern die Dauer der Optimierung, d. h. die Anzahl der durchzuführenden und zu analysierenden Optimierungsexperimente oder Simulationsläufe. Folgende Einstellungen sind vorzunehmen:

- Input Faktoren und deren Intervall
- Zielfunktion und deren Komplexität
- Warm up, Laufzeit des Modells und Anzahl Wiederholungen
- Optimierungsprofil und Konfidenzlevel

## 6.2 Zielfunktion

Eine Zielfunktion dient dazu, quantitativ auszudrücken, wie sich ein System oder das Modell dieses Systems verhält (Performance). Dazu werden Faktoren ermittelt, die auf diese Performance Einfluss haben. Im vorliegenden Projekt wurden vier Faktoren ermittelt, die ausdrücken, welche Leistung das System erbringt.

- *Mengenindex*: Steht für das Verhältnis von tatsächlich ausgebrachter Menge zur gewünschten Menge. Der Index liegt im Intervall von null bis eins und soll maximiert werden.
- *Servicelevel*: Drückt die Zufriedenheit des Kunden aus. Bei Aufträgen, die innerhalb des vorgegebenen Zieltermins versendet werden, ist der Servicelevel erfüllt und wird mit 1 bewertet. Benötigt die Bearbeitung länger, so liegt der Servicelevel bei 0. Dieser Wert sollte für die Summe aller Aufträge möglichst hoch liegen.
- *Kapazitäten*: Je mehr Wochenstunden die Mitarbeiter eingesetzt werden müssen, umso teurer ist die Kommissionierung.
- *Kostenindex*: Steht für die gesamten Personalkosten, die durch das gewählte Schichtmodell verursacht werden, in Relation zur Hochrechnung der Produktivitätsrate.

Kapazitäten erlauben eine direkte Einschätzung des Simulationsexperiments wie z. B. „200 Stunden mehr Kapazität“ eingesetzt. Der Kostenindex liefert dagegen eine relative Einschätzung des verwendeten Schichtmodells, z.B. 50 % Mehrkosten. Eingebunden wurden Kosten gemäß Vorgehensweise zur Kostensimulation (Mutzke 1997).

Für jeden Einzelfaktor wird bestimmt:

- Wie genau lautet die *Definition* (z. B. Mittelwert, ...)?
- Beeinflusst er das Ergebnis positiv oder negativ? (Suche nach *Maximum* oder *Minimum*)
- Im welchem Intervall bewegt sich der *Erwartungswert*?

- Wie stark beeinflusst er das Gesamtergebnis im Vergleich zu den anderen Faktoren? (*Gewichtung*)

Die Zielfunktion wurde ebenfalls mithilfe einer Sensitivitätsanalyse untersucht, Stichproben zum Realitätsabgleich wurden durchgeführt und gemeinsam mit den Experten und deren Erfahrungswissen plausibilisiert.

### 6.3 Lösungsraum

Der Lösungsraum umspannt alle möglichen Kombinationen der Inputparameter (28 Poolstärken). Für jeden Wochentag sind vier Schichten möglich, das bedeutet 28 mögliche Schichten pro Woche (7 Arbeitstage). Jede dieser Schichten kann einen Wert zwischen 0 und 35 annehmen. Die Spitze jeder Pyramide steht für den ausgewählten Wert für diese Schicht. In diesem Fall handelte es sich z.B. um 4 741 632 mögliche Kombinationen. Durch Einsatz des Optimierers konnte die Anzahl der Simulationsläufe gegenüber der vollständigen Berechnung aller Kombinationsmöglichkeiten auf 12 908 reduziert werden. Das entspricht einer Einsparung von 99,7%.

### 6.4 Workshop Zielfunktion

Bei der Entwicklung der Zielfunktion sind einige Themen zu beachten:

- Welche Kennzahl beschreibt die „bessere“ Lösung und sortiert die Experimente?
  - Ein größerer Servicelevel beschreibt ein „besseres“ Modell.
- Welche Randbedingung ist erforderlich?
  - Es sollen nur Lösungen verglichen werden, bei denen alle Kunden auch bedient wurden.
- Welche Abbruchbedingungen sind sinnvoll?
  - Wird der Bestand im Modell sehr groß, so ist davon auszugehen dass das Modell keine verwertbaren Ergebnisse liefert und der Optimierungslauf kann vorzeitig abgebrochen werden.
- Wie könne triviale Lösungen verhindert werden? Wie kann eine Vergeudung von eingesetzten Kapazitäten bei gleichzeitigem erforderlichlichem Servicelevel gefunden werden?
  - Eine mehrdimensionale Zielfunktion unter Berücksichtigung minimaler Kosten verhindert Verschwendung von Kapazität.

### 6.5 Algorithmus

Die verwendeten *Evolutionären Algorithmen* (EA) sind eine Klasse von stochastischen, metaheuristischen Optimierungsverfahren, deren Funktionsweise von der Evolution natürlicher Lebewesen inspiriert ist. In Anlehnung an die Natur werden Lösungskandidaten für ein bestimmtes Problem künstlich evolviert, EA sind also naturanaloge Optimierungsverfahren. (SIMRUNNER 2014, S. 7).

### 6.6 Struktur der Optimierung

Die Gesamtoptimierung kann gedanklich zur Veranschaulichung in drei Abschnitte unterteilt werden. Dadurch entsteht eine hierarchische Vorgehensweise.

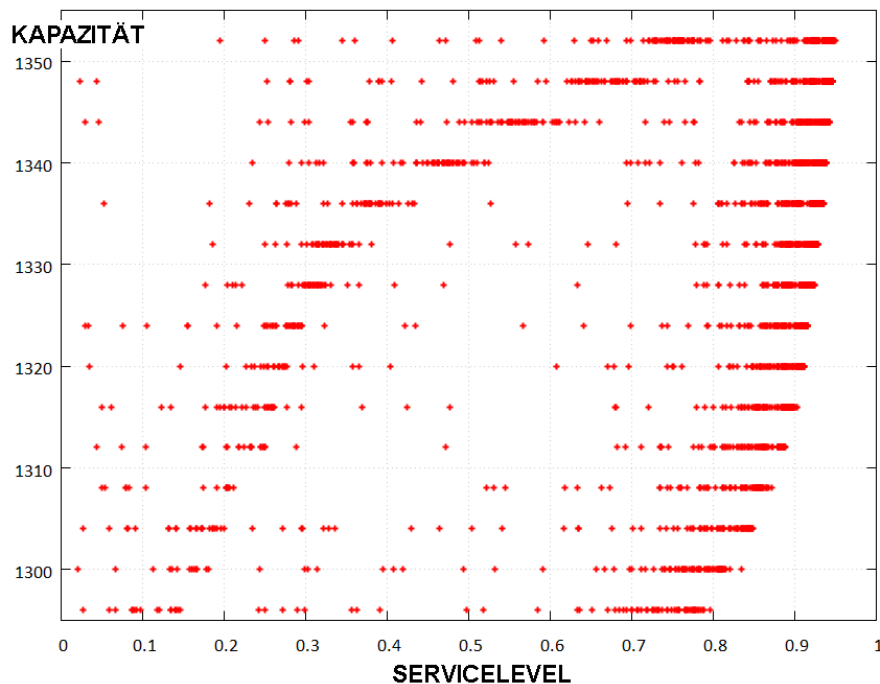
*I Fokus Schichtmodell: Arbeitszeit*, verglichen wurden die verschiedenen Arbeitszeitmodelle: Samstag und Sonntag ja / nein? Nachtschicht? Schichtlänge?

*II Fokus Mitarbeiter Anzahl*, gesucht wurde hier die optimale Mitarbeiteranzahl für die kostengünstige Realisierung des Prozessablaufs.

*III Fokus Arbeitszeit-Details*, welchen Effekt hatten verschiedene Pausenregelungen (Position und Dauer)?

## 7 Ergebnis-Workshop

Bei diesem Workshop wurden die optimalen Parameterkonstellationen vorgestellt und diskutiert. Anhand der Grafiken erhielten alle Teilnehmer ein vertieftes Verständnis für die Einflüsse der Parameter auf die einzelnen Terme der Zielfunktion und damit auf die Kennzahlen der Kommissionierung und deren Zusammenhänge. Aufgetragen ist beispielhaft in Abbildung 5 der Einfluss der Kapazitäten auf den Servicelevel. Für einen Servicelevel von  $x$  müssen Kapazitäten von  $y$  eingesetzt werden. Eine falsche Verteilung der Kapazität führt hingegen wieder zu einer Verschlechterung des damit möglichen Servicelevels.



**Abbildung 5:** Unterschiedlicher Servicelevel bei gleicher Kapazität

Auch lassen sich die bekannten klassischen Betriebspunkte aus der Praxis darin nachvollziehen. Eine Gesamtsicht auf die Zielfunktion und den zu maximierenden Servicelevel bei zu minimierenden Kosten zeigt Abbildung 6.



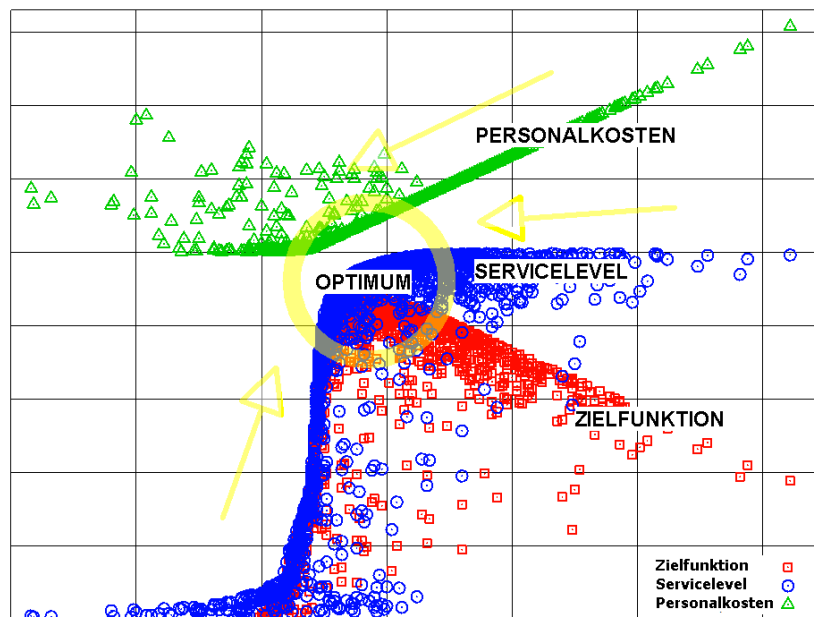


Abbildung 6: Zusammenfassung Ergebnisse

## 8 Realisierung

Derzeit werden die gefundenen optimalen Parameter im Unternehmen implementiert und die Kennzahlen auch erzielt. Die entwickelte Vorgehensweise wird in Zukunft regelmäßig eingesetzt, um die Schichten zu überprüfen und kontinuierlich an das Wachstum anzupassen. Die Konzentration auf Wachstum und nicht auf Organisation und Fehlversuche steht damit im Fokus. Fazit: O-Ton „Das hätten wir uns weder ausdenken noch im laufenden Betrieb ausprobieren können!“ ... und ... „Die Vorhersagegenauigkeit und Qualität der prognostizierten Kennzahlen übertraf unsere Erwartungen!“

Grundsätzlich eignet sich die Methode für jedes Unternehmen, das ähnliche Herausforderungen bewältigen muss. Die Weiterentwicklung des projektspezifischen Simulators zu einem generisch anwendbaren Produkt-Methoden-Baukasten zur kostenintegrierten Optimierung von Schichten und Poolstärken steht aktuell auf dem Fahrplan der beteiligten Unternehmen für das Jahr 2015/2016. Die Ergebnisse überzeugten durch verständliche Visualisierung, zeit- und kostensparende Bewertung von Alternativ-Szenarien im Simulationsmodell sowie einen nachvollziehbaren Verlauf der Optimierung. Für die Praktiker waren diese Effekte wichtig:

- bedarfsgerechte Anpassungen des Simulationsmodells kurzfristig möglich
- keine Fehlversuche beim Umbau und Testen der Schichten
- Ausschluss nicht hilfreicher Schichten
- Platzierung der Ressourcen am richtigen Ort zur richtigen Zeit
- deutliche zweistellige Steigerung des Servicelevels

Übereinstimmende Erkenntnis: „10000 Versuche am Rechner weisen den Weg!“

## 9 Ausblick

Aktuelle Studien zum Thema eCommerce stellen übereinstimmend fest (Bonsai 2013, S. 26; Xu 2014):

- Der Kunde erwartet Lieferung schnellst möglich (Servicelevel!) und zum bestmöglichen Preis.
- Die zunehmende Internationalisierung, die in den nächsten Jahren den Einzelhandel hier zu Lande zunehmend betreffen wird (der Apotheken Versandhandel nimmt eine Sonderstellung ein aufgrund der bestehenden gesetzlichen Regelungen BMG 2014), erfordert weitere Anstrengungen bei der Einsparung von Zeitverlusten.

Der Prozess Kommissionierung steht branchenübergreifend im Fokus. Die wesentlichen Eigenschaften des optimierten Prozesses sind:

- Personal- oder kapazitätsintensiv
- stark schwankende Nachfrage
- Trendmodell (Wachstum, Schrumpfung)
- viele Lösungsmöglichkeiten möglich!
- Berechnung unmöglich oder zu zeitaufwendig!

Sollten diese Eigenschaften zutreffen, so kann die beschriebene Vorgehensweise adaptiert und angewendet werden. Einsatzgebiete können ebenfalls sein:

- personalintensive Montage
- Abläufe im Gesundheitswesen wie z. B. Behandlungspfade, OP-Saal-Auslegung
- Projektmanagement Prozesse (Fähigkeiten + Qualifikationen)
- Serienanlauf / Hochlaufmodelle

## Literatur

- BITKOM e. V.: Online-Medikamentenkauf in Deutschland immer beliebter. [www.bitkom.org](http://www.bitkom.org), 12.02.2013.
- Bonsai Market Research, Bundesverband Deutscher Versandapotheken: Versandhandelsstudie 2013, [www.bdva.de](http://www.bdva.de), 28.05.2013.
- Bundesministerium für Gesundheit (BMG): Versandhandel mit Arzneimitteln 2014. [www.bmg.bund.de](http://www.bmg.bund.de), 18.11.2014.
- Bundesverband Deutscher Versandapotheken: Daten und Fakten zum Arzneimittelversandhandel in Deutschland. [www.bdvda.de](http://www.bdvda.de), 08.09.2014.
- Nielsen Company: QUO VADIS Apotheken-Versandhandel? Vortrag beim 5. BVDVA Kongress, Berlin Mai 2012.
- Mutzke, H.: Integration der Kostensicht in die Simulation. In: 11. Symposium Simulationstechnik Dortmund, November 1997, S. 232-236.
- Xu, Annie: 7 E-commerce Trends Small Businesses Need to Know in 2014. [www.huffingtonpost.com](http://www.huffingtonpost.com), updated 9.3.2014.
- PROMODEL 2014 Users Guide Version 9.2, ProModel Corporation, 2015.
- Process Simulator Professional 2014 Users Guide Version 9.2, ProModel Corporation, 2014.
- SIMRUNNER 2014 Users Guide, Version 3.0, ProModel Corporation, 2010.
- VDI 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Grundlagen. Beuth Verlag, Berlin 2014.