

Unternehmensübergreifende Erstellung von Supply-Chain-Modellen in der Cloud

Cross-enterprise Creation of Supply Chain Models in the Cloud

Kai Gutenschwager, Jonas Steinke, Marcel Theile, Bastian Wilhelm,
Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Wolfenbüttel (Germany),
k.gutenschwager@ostfalia.de, jon.steinke@ostfalia.de, ma.theile@ostfalia.de,
ba.wilhelm@ostfalia.de

Till Fechteler, SimPlan AG, Braunschweig (Germany), till.fechteler@simplan.de

Abstract: A main characteristic of supply chain simulation studies is that typically several independent organizations are involved. However, suppliers usually do not want to publish sensitive data, such as cost rates or capacities to other companies. This paper presents an overall architecture to tackle this problem of multi-organizational simulation studies as a cloud service. In order to define scenarios, different rights to use the provided data can be granted to other participants. This article focuses on the developed workflow for creating simulation and optimization models with several participants meeting the given restrictions for the use of data.

1 Einleitung

Die Erstellung komplexer Supply-Chain-Modelle im Bereich Simulation und Optimierung stellt Unternehmen, die unternehmensübergreifend Lieferketten oder Distributionsnetzwerke analysieren wollen, vor erhebliche Herausforderungen. Zum einen sind viele Daten typischerweise aus unterschiedlichen Quellen zu erheben. Zum anderen sind Lieferanten in aller Regel nicht gewillt, alle Daten, die für die Bewertung der betrachteten Systeme notwendig sind, wie z.B. Kostensätze oder Ressourcenverfügbarkeiten, allen anderen Teilnehmern der Lieferkette zugänglich zu machen.

Im Rahmen des ZIM-Forschungsprojekts „Entwicklung eines Supply Chain Werkzeugs in der Cloud unter Berücksichtigung dynamischer Verschlüsselungstechnologien“, gefördert vom BMWi, wurde prototypisch eine cloudbasierte Lösung für eine unternehmensübergreifende Modellierung entwickelt, die eine individuelle Verschlüsselung und ein projektinternes Rechtemanagement für alle Daten einer Simulationsstudie beinhaltet. So haben alle Teilnehmer die vollständige Kontrolle über ihre Daten und können Restriktionen zur Weiterverarbeitung individuell festlegen.

Am Markt sind verschiedene Optimierungs- und Simulationswerkzeuge verfügbar. *4flowVista* (4flow) und *Logistics Designer* (LOCOM) unterstützen die strategische und taktische Planung logistischer Netzwerke. Dabei werden allerdings nur statisch analytische Methoden eingesetzt. *anyLogistix* (AnyLogic Company, siehe Ivanov 2018) und *Supply Chain Guru* (Lamasoft) bieten darüber hinaus die Möglichkeit, Lieferkettenmodelle mit Hilfe einer diskreten ereignisorientierten Simulation unter dynamischen Gesichtspunkten zu analysieren. Einen rein simulationsbasierten Ansatz bietet *SimChain*, ein auf *Plant Simulation* (Siemens) aufsetzendes Werkzeug, bei dem Simulationsmodelle basierend auf einem zugrundeliegenden Datenmodell generisch erzeugt werden (Gutenschwager und Aliche 2004). Fast alle Anbieter bieten mittlerweile eine serverbasierte Version ihres Tools an, die einen Einsatz im Unternehmensumfeld erleichtert. Für eine Übersicht zu verfügbaren Werkzeugen sei auf Gutenschwager et al. (2018) sowie Terzi und Cavalieri (2004) verwiesen. Keines dieser Werkzeuge bietet allerdings die Möglichkeit an, die eigenen Daten vor dem Zugriff anderer Teilnehmer einer Studie zu schützen.

Aufgrund der flexiblen, datengesteuerten Struktur wurde *SimChain* als Grundlage für den hier beschriebenen Ansatz für eine unternehmensübergreifende Modellierung gewählt. In diesem Beitrag soll im Wesentlichen der entwickelte Workflow zur Erstellung von Simulations- und Optimierungsmodellen mit mehreren Teilnehmern vorgestellt werden.

In Abschnitt 2 wird zunächst die Gesamtarchitektur beschrieben, um dann in Abschnitt 3 den Workflow zur verteilten Erstellung von Optimierungs- und Simulationsmodellen zu behandeln. Der Beitrag schließt mit einer kurzen Zusammenfassung und einem Ausblick auf weitere Entwicklungsschritte (Abschnitt 4).

2 Gesamtarchitektur

Die Gesamtarchitektur setzt sich aus einer Benutzerverwaltung, einer Optimierungs- und einer Simulationskomponente sowie einem Kryptographiemodul zur Ver- und Entschlüsselung aller Daten zusammen, die in den zugrundeliegenden Datenbanken vorgehalten werden (siehe Abb. 1). Für die Optimierung und die Simulation gibt es jeweils einen Szenariogenerator, mit dem die grundlegenden Strukturen festgelegt bzw. schrittweise verfeinert werden können. Über die jeweilige Taskverwaltung werden Modellierungsaufgaben verteilt, die durch andere Teilnehmer der Studie zur Vervollständigung der Szenarien durchgeführt werden müssen (siehe Abschnitt 3). Für die Durchführung von Optimierungs- und Simulationsläufen sind entsprechende Optimierungsverfahren für verschiedene Modelle der Standort- und Tourenplanung sowie ein neu entwickelter Simulationskernel integriert. Die Basis der Gesamtarchitektur bildet das Datenmodell des Supply-Chain-Simulationswerkzeugs *SimChain*. Alle Struktur- und Ergebnisdaten eines Projekts werden hier in einer projektspezifischen MySQL-Datenbank gespeichert, wobei der Modellierer vollen Zugriff auf alle Daten besitzt. Diese Datenbank für die Simulationskomponente wurde im Rahmen des Projekts um drei weitere Datenbanken ergänzt:

- Datenbank für die Verwaltung von Nutzern und Rechten
- Datenbank für eine zusätzliche Optimierungskomponente (für Standort- und Routingprobleme)

- Datenbank für die Unterstützung der Modellerstellung (weltweite Standorte und Seerouten mit Häfen)

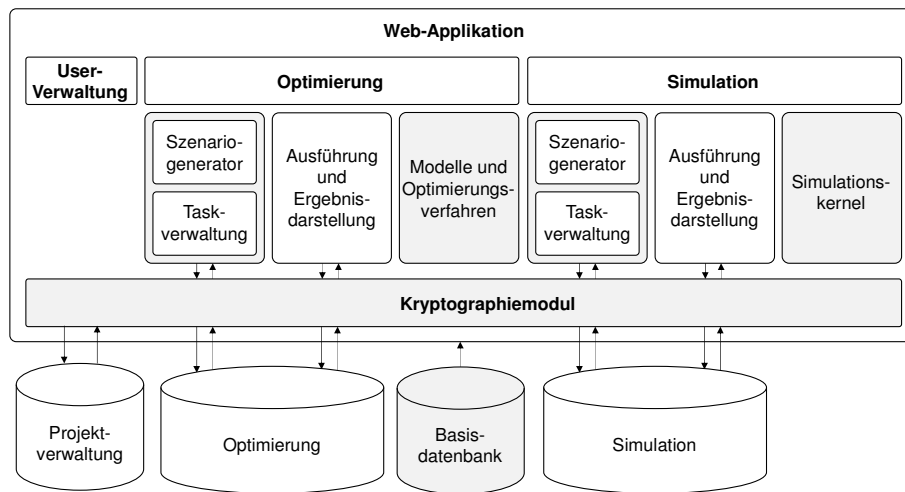


Abbildung 1: Gesamtarchitektur

Der neue Ansatz im Rahmen einer Cloud-Architektur sieht eine Verschlüsselung aller projektspezifischen Daten vor. In Gutenschwager et al. (2018) haben wir verschiedene Konzepte der Datenhaltung und Verschlüsselung untersucht. In der finalen Lösung werden – insbesondere aus Performancegründen – alle Tabellen mit Strukturdaten als Ganzes durch die Datenbankumgebung (für die hier verwendete MySQL-Datenbank mit dem „Keyring“-Plug-in) verschlüsselt, wobei jeder Datensatz eine Referenz auf den Besitzer enthält. Das Rechtemanagement ist vollständig auf Seiten der Applikation implementiert.

Von großer Bedeutung ist dabei, dass die einzelnen Teilnehmer eines Projekts weiterhin die vollständige Kontrolle über ihre Daten behalten, d.h., dass Daten verschlüsselt werden und den anderen Teilnehmern verborgen bleiben, es sei denn, ein Benutzer erteilt explizite Freigaben an ausgewählte Teilnehmer des Projekts. Zur Verwaltung der Freigaben dient die Datenbank der *Projektverwaltung* (Gutenschwager et al. 2018). In dieser Datenbank sind die Attribute zu Attributgruppen zusammengefasst, und jeder Benutzer kann innerhalb eines Projekts Privilegien an andere Benutzer des Projekts pro Attributgruppe erteilen. Teilnehmer können folgende Optionen vorgeben:

- Andere Anwender dürfen die Daten der Gruppe weder sehen noch für neue Szenarien ändern.
- Andere Anwender dürfen die Daten der Gruppe zwar nicht einsehen, aber in neuen, abgeleiteten Szenarien einige Parameter *relativ* verändern (z.B. Erhöhung der Meldebestände um 5%).
- Andere Anwender dürfen die Daten einsehen und in neuen, abgeleiteten Szenarien beliebig (*absolut*) ändern.

Das ursprüngliche Konzept von *SimChain* zur Erstellung von Szenarien sieht vor, dass ein Szenario aus verschiedenen Teilkonfigurationen, z.B. für Standorte, *Stock*

Keeping Units (SKUs) und Transportbeziehungen, zusammengesetzt wird. Nach diesem Ansatz muss für die Erstellung eines neuen Szenarios zumindest eine neue Teilkonfiguration (in aller Regel auf Basis einer Kopie einer bestehenden Teilkonfiguration) angelegt werden. In den Datensätzen einer solchen Kopie können dann absolute Änderungen vorgenommen werden.

Problematisch gestaltet sich hierbei die Abbildung der im Konzept vorgesehenen relativen Änderungen von Parameterwerten. Über die Benutzeroberfläche ließen sich zwar entsprechende Felder anlegen und die neu berechneten Werte verschlüsselt in der Kopie speichern, allerdings wäre die Höhe der relativen Änderung für den Ersteller des Szenarios nicht explizit gespeichert und aufgrund der weiterhin notwendigen Verschlüsselung für den Ersteller des neuen Szenarios auch nicht mehr nachvollziehbar.

Von daher ist eine Erweiterung des Konzepts für die Definition von Szenarien notwendig. Für die Definition von Teilkonfigurationen, die als Summe ein Szenario ausmachen, werden zusätzlich sogenannte *Changesets* im Datenmodell definiert. Hier wird für jede Tabelle mit Strukturdaten jeweils eine Tabelle mit relativen und eine mit absoluten Änderungen angelegt. So kann z.B. die Bestellmenge einer SKU von Benutzer *A* angelegt worden sein. Sofern Benutzer *A* Benutzer *B* die Rechte auf relative Änderungen der entsprechenden Attributgruppe eingeräumt hat, kann dieser einen entsprechenden Datensatz anlegen, z.B. zur Erhöhung der Bestellmenge um den Faktor 1,2. Das Resultat der Änderung wird nicht explizit gespeichert. Stattdessen wird die relative Änderung als verschlüsselter Datensatz des Benutzers *B* verwaltet. Die Berechnung der eigentlichen Werte erfolgt somit erst beim Aufbau des jeweiligen Simulationsmodells.

Die Gesamtapplikation enthält eine zusätzliche Datenbank (in Abbildung 1 als *Basisdatenbank* bezeichnet), um die Modellerstellung bei der Generierung von Kundenstandorten zu unterstützen. In der Datenbank sind über eine Million Orte in circa 150 Ländern hinterlegt. Hierfür wurde ein Map-Reduce-Prozess für einen Hadoop-Cluster implementiert, der alle relevanten Daten aus *OpenStreetMap* extrahiert und die Angaben zu Einwohnerzahlen hinsichtlich Konsistenz prüft und ggf. anpasst. Außerdem sind Häfen und Routen ausgewählter Reedereien einschließlich der Transportzeiten hinterlegt. Dadurch können für die Verknüpfung von Lieferanten, Produktionsstätten und Märkten auf dem Seeweg geeignete multimodale Transportrelationen automatisch bestimmt und in das Modell übernommen werden. Die Datenbasis umfasst ca. 365 Routen mit 1250 Transportrelationen und ca. 400 Häfen weltweit. Die Bestimmung des kürzesten Weges zwischen zwei Standorten (auf unterschiedlichen Kontinenten) basiert auf dem Kürzeste-Wege-Algorithmus nach Dijkstra (1959), wobei der Wechsel zwischen Routen, also das Umladen der entsprechenden Container in einem Hafen mit zusätzlichen Strafkosten versehen ist und entsprechend berücksichtigt wird.

Die Simulationskomponente von *SimChain* wurde ursprünglich als Bausteinkasten für das Simulationswerkzeug *Plant Simulation* realisiert. Der neue Simulationskernel basiert hingegen auf dem Simulationswerkzeug *jasima*, was unter anderem eine einfachere Integration in die Web-Applikation ermöglicht. Der Kernel ist in drei Ebenen untergliedert. Auf unterster Ebene finden sich grundlegende Funktionen der Ablaufsteuerung und zur Erfassung von Statistiken. Auf den darüber liegenden Ebenen finden sich Klassen, um die Struktur von Liefer- bzw.

Distributionsnetzwerken abbilden zu können, sowie alle relevanten Entscheidungs- und Koordinationsprozesse (im Wesentlichen bzgl. Forecasting, Produktionsplanung, Beschaffung, sowie Distributions- bzw. Tourenplanung). Zum Simulationskernel gehört zudem die Schnittstelle zwischen den Simulationsklassen und den Klassen der Datenmodelle, durch die das Einlesen der verschlüsselt vorliegenden Parameterwerte sowie das Speichern der Simulationsergebnisse unter Berücksichtigung der erteilten Freigaben zur Datennutzung umgesetzt ist.

3 Workflow zur verteilten Erstellung von Optimierungs- und Simulationsmodellen

Der grundlegende Ansatz besteht darin, dass der Modellbesitzer die grobe Struktur der Supply Chain bezüglich der Märkte, Kunden, Standorte und der Kundennachfrage festlegt. Während des Aufbaus sind alle sich ergebenden Parametrisierungsaufgaben, bezogen auf Standorte, SKUs und Transportbeziehungen, unterschiedlichen, frei definierbaren Rollen zuzuordnen. Damit wird die Verteilung der Modellierung festgelegt, die anschließend parallel durch die zugeordneten Teilnehmer erfolgen kann. Der Workflow für das Anlegen eines neuen Projektes und Ausgangsszenarios ist in Abbildung 2 dargestellt. Für die Web-Applikation sind der Übersicht halber die Datenstrukturen zur Beschreibung der eigentlichen Supply Chain nicht dargestellt. Grundsätzlich soll mit dem Aufbau eines Optimierungsmodells begonnen werden, um anschließend die entsprechenden Angaben für die Simulation zu detaillieren.

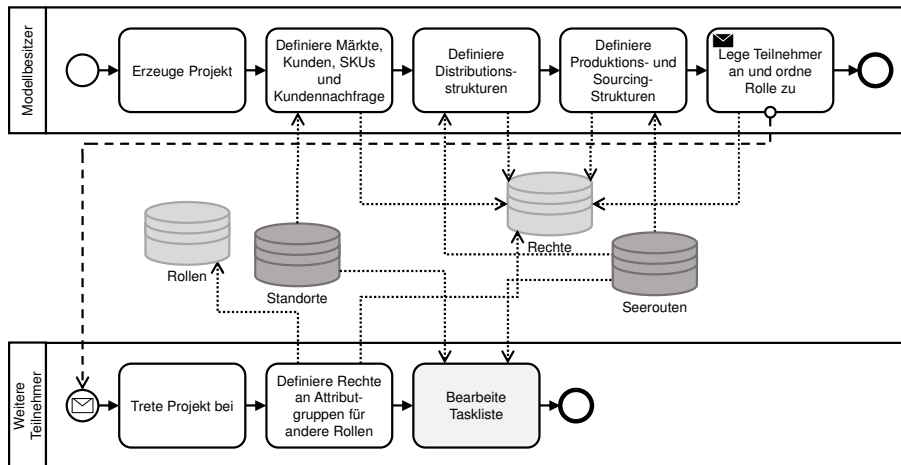


Abbildung 2: Workflow für das Anlegen eines Supply Chain Modells mit mehreren Teilnehmern

Für die folgenden Ausführungen orientieren wir uns an einem einfachen Beispiel: Ein deutscher Bierproduzent will seine Produkte (eine SKU-Gruppe „Beer“) auf drei Märkten (Europa, USA und Südamerika) vertreiben, wobei der Vertrieb jeweils über ein anderes Unternehmen erfolgt. Damit hat das Projekt in Summe vier Rollen.

3.1 Anlegen eines Projekts und Festlegung der grundsätzlichen Strukturen

Nach einigen Grundeinstellungen werden Kunden nach Märkten getrennt durch den Modellbesitzer angelegt. Hintergrund dieses Ansatzes ist, dass die Kunden eines Marktes in aller Regel über ein Zentrallager oder zusätzlich über Regionalläger des jeweiligen Marktes beliefert werden und daher Instanzen für Optimierungsprobleme im Bereich Standort- und Distributionsplanung sind, die im Wesentlichen auf einer Auslieferung per Lkw beruhen und nach Märkten getrennt definiert werden (siehe Abschnitt 3.3).

Nach Auswahl eines Kontinents für einen Markt können für Länder, Bundesländer oder Regionen sukzessive Kunden in beliebiger Menge per Import aus einer Excel-Datei oder zufallsbasiert angelegt werden. Bei zufälliger Auswahl der Kundenstandorte kann dabei eine Eingrenzung auf Orte bestimmter Typen (Städte, Dörfer) oder einer bestimmten Mindesteinwohnerzahl erfolgen. Hier kann auch eine diskrete Verteilung auf Basis der Einwohnerzahl genutzt werden, um Kundenstandorte zu generieren. Die prozentuale Verteilung der Kunden nach ABC-Klassifikation ist anzugeben, sofern die Generierung der Nachfrage auf der entsprechenden Klassifikation beruhen soll (siehe Abb. 3).

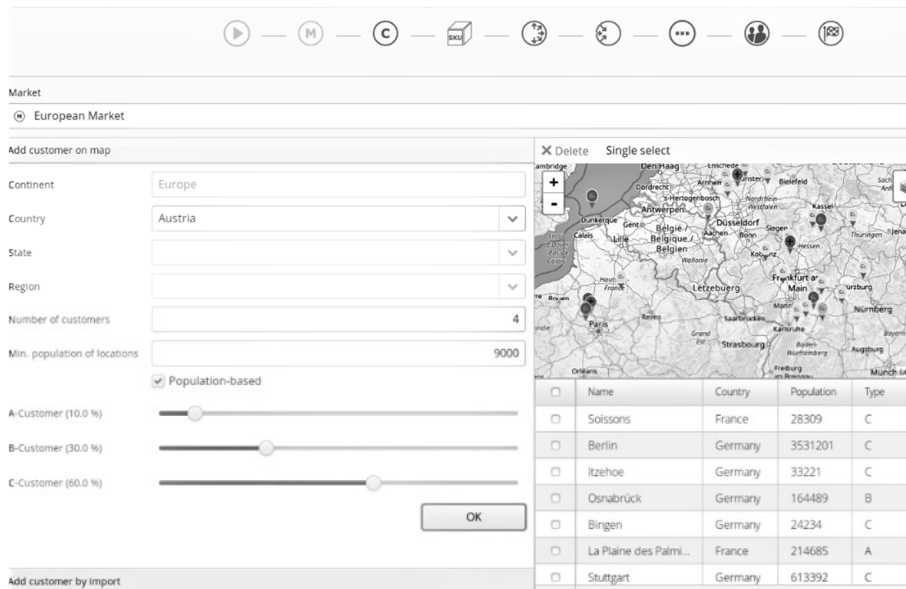


Abbildung 3: Anlegen von Kundenstandorten

Im Anschluss an die Generierung aller Kunden erfolgt die Parametrisierung der Nachfrage. Bei einer zufallsbasierten Festlegung ist für jede SKU-Gruppe die prozentuale Aufteilung über die Märkte anzugeben. Im ersten Schritt wird damit die Gesamtmenge pro Markt berechnet. Im zweiten Schritt erfolgt die Aufteilung auf die Kunden eines jeden Marktes. Diese Aufteilung kann gleichverteilt, gemäß der Einwohnerzahl der gewählten Orte oder unter Nutzung der ABC-Klassifikation der Kunden bestimmt werden. Im letzten Fall wird die für den Markt vorgesehene Menge

zunächst prozentual auf die A-, B- und C-Kundengruppen und anschließend auf die Kunden der jeweiligen Gruppe, unter Berücksichtigung einer gegebenen Schwankungsbereite, verteilt.

Für die weitere Parametrisierung der Distributionsstrukturen wird pro Markt festgelegt, ob neben einem oder mehreren Zentrallägern auch Regionalläger zur Distributionsstruktur gehören sollen. Gleichzeitig ist festzulegen, welche Rolle für die Parametrisierung für die Distribution pro Lieferstufe im Markt verantwortlich ist. Im Beispiel ist dies „Bob“ für den US-Markt (siehe Abb. 4).

Die Inbound-Ströme (Sourcing) werden anschließend marktübergreifend definiert. Dabei sind die grundlegenden Verknüpfungen für alle angelegten SKU-Gruppen über Produktionsstandorte und Lieferanten hinweg anzugeben. Für das Beispiel ist eine Sourcing-Variante parametrisiert, in der die Produktionsstätte „BeerFactory“ alle drei Märkte mit der SKU-Gruppe „Beer“ beliefert. Da die Rolle „Bob“ für die Distribution in den USA und das entsprechende Zentrallager verantwortlich ist, muss anschließend noch angegeben werden, ob „Bob“ oder der Modellbesitzer, der für die Parametrisierung der Produktionsstätte selbst verantwortlich ist, die Verantwortung für den Transport zwischen Produktionsstätte und der Zentrallagerstufe in den USA hat. Im Beispiel erfolgt die Parametrisierung durch den Modellbesitzer selbst (siehe Abb. 4).

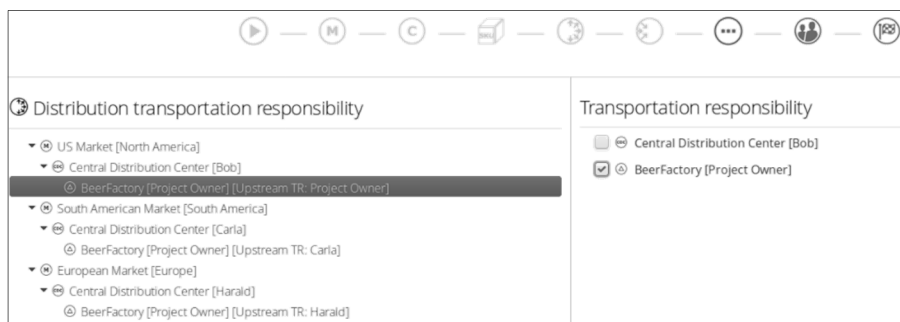


Abbildung 4: Festlegung der Transportverantwortung

Nach Abschluss der Parametrisierung der grundlegenden Strukturen von Lieferanten über Produktionsstätten bis zur Distribution hat der Modellersteller noch einmal die Möglichkeit, alle zugeordneten Rollen und Aufgaben in einer Übersicht zu prüfen.

3.2 Verteilte Modellierung über Tasklisten

Nachdem die Grundstruktur vollständig hinterlegt ist, werden für alle definierten Rollen Zugangscodes (Tokens) für den Zugang zur Cloud-Anwendung erzeugt. Diese muss der Modellersteller an die entsprechenden Personen verteilen. Tritt ein Benutzer unter Angabe des Tokens einem Projekt bei, so wird eine Aufgabenliste erzeugt, die sukzessive abzuarbeiten ist.

Die erste Aufgabe besteht dabei immer darin, zunächst die Rechte anderer an den eigenen Daten festzulegen. Durch derartige Restriktionen hat der Ersteller des Szenarios gegebenenfalls nur eingeschränkte Möglichkeiten, neue Szenarien zu definieren.

Nach Abschluss dieser Angaben sind die eigentlichen Parametrisierungsaufgaben abzuarbeiten. Für das Beispielprojekt müsste „Bob“ für den US-amerikanischen Markt alle weiteren Angaben zum Zentrallager sowie zu den Transporten zu den Kunden machen. Für die Optimierung wären dies z.B. der genaue Standort des Lagers sowie der Transportkostensatz vom Lager zu den Kunden. Für die Simulation wären noch deutlich weiterführende Angaben bezüglich der Lagerhaltung und detaillierte Angaben zum Transport (Transportträger, Fahrpläne etc.) zu machen. Über ein Dashboard wird immer der aktuelle Bearbeitungsstand angezeigt. Ein Beispiel ist in Abbildung 5 gegeben. Für die Rolle „Bob“ wurde bereits die erste Aufgabe der Taskliste abgeschlossen (gekennzeichnet über eine Flagge), so dass nur noch Angaben zum Markt (Transporte) fehlen, bevor die Modellierung abgeschlossen ist.

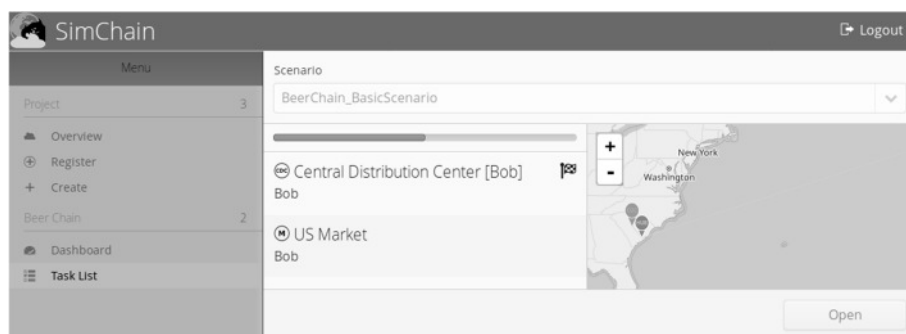


Abbildung 5: Taskliste eines Teilnehmers

In der Abbildung 5 ist rechts neben dem Zentrallager (Marker) bereits ein weiterer Marker dargestellt. Dieser Marker repräsentiert einen möglichen Hafen zur Anbindung an den Produktionsstandort in Europa. Da die Koordinaten des Zentrallagers sowie die Koordinaten des Produktionsstandortes bereits parametrisiert wurden, wurde hier systemseitig bereits ein Vorschlag für die Verknüpfung der Standorte gewählt. Dieser Vorschlag basiert auf der in Abschnitt 2 genannten Datenbankanwendung.

3.3 Durchführung von Optimierungs- und Simulationsläufen

Nach Abschluss der Modellierung durch alle Teilnehmer kann der Modellersteller Optimierungs- und Simulationsläufe durchführen. Neben dem Basisszenario können weitere Szenarien in einem analogen Workflow definiert werden, wobei der Anwender nunmehr Änderungen gegenüber dem Basisszenario über die in Abschnitt 2 eingeführten Changesets definieren kann.

Für die Optimierung können ein- oder zweistufige Standortprobleme formuliert werden. Hier kann für eine gegebene Struktur an Kunden sowie unter bereits feststehenden Lager- und Produktionsstandorten, Lieferanten und/oder Hub-Standorten eine gewünschte Anzahl an zusätzlichen zentralen und Regionallagern für einen Markt vorgegeben werden (vgl. Klose (2001) für eine Übersicht zu verschiedenen Standortproblemstellungen). Die Implementierung erfolgte auf Basis des Java-Frameworks *OptaPlanner*. Als Standardverfahren ist Tabu Search hinterlegt (Glover und Laguna 1997), wobei eine variable Nachbarschaft implementiert ist: Das Verfahren wechselt dabei zwischen Phasen der Intensivierung, in der nur

nahegelegene Nachbarn gewählt werden, und Phasen der Diversifikation, in der auch weiter entfernte Nachbarsstandorte untersucht werden. Sofern ein Netzwerk aus mehreren Märkten besteht, erfolgt eine parallele Lösung der Teilproblemstellungen über entsprechende Threads. Zur Laufzeit wird das aktuell beste Ergebnis visualisiert.

Die Tourenplanung ist aktuell als Bestandteil der Simulation vorgesehen, da hierzu tagesgenaue Nachfragemengen benötigt werden. Auch diese Implementierung basiert auf *OptaPlanner* und erlaubt die Berücksichtigung der folgenden Restriktionen:

- Kapazität der Fahrzeuge (Gewicht und Volumen)
- Zeitfenster für Kundenbelieferungen
- Max. Anzahl an Kunden pro Tour
- Max. Tourlänge (km)
- Max. Fahrdauer pro Tour

Lozano Murciago et al. (2015) stellen eine ähnliche Implementierung für das Capacitated Vehicle Routing Problem (ohne die Berücksichtigung von Zeitfenstern) auf Basis von *OptaPlanner* vor. Aufgrund eines generischen Modellierungsansatzes ist es möglich, die entsprechenden Restriktionen beliebig zu kombinieren. Als Lösungsverfahren sind hierbei einfache Konstruktionsverfahren (Savings- und Sweep-Algorithmus, siehe Paessens 1988) sowie Tabu Search als Verbesserungsverfahren vorgesehen.

Die Art der Ergebnisdarstellung ist abhängig von den gewählten Freigabeoptionen der Eingabedaten. Hier ist grundsätzlich ein direkter Vergleich zwischen jeweils zwei Szenarien vorgesehen. Jeder Teilnehmer sieht grundsätzlich seine eigenen Ergebnisgrößen in absoluter Darstellung. Um nicht auf Ergebniswerte anderer Teilnehmer rückschließen zu können, muss die Darstellung weiterer Ergebnisgrößen aber eingeschränkt werden. Für den Fall, dass ein einziger Teilnehmer nur relative Änderungen an einem Teil der Daten freigibt, besteht ein intuitiver Ansatz darin, auch die entsprechenden Ergebnisgrößen der anderen Teilnehmer sowie die aggregierten Ergebnisgrößen über alle Teilnehmer als relative Änderung im Vergleich zu einem Basisszenario darzustellen. Bei Betrachtung der Gesamtkosten einer Lieferkette mit drei Teilnehmern „T1“, „T2“ und „T3“ erhalte Teilnehmer „T1“ für das Experiment 1 somit Zugriff auf seine eigenen Gesamtkosten $K_{T1,1}$ sowie die relativen Änderungen $f_{T2,1}$ und $f_{T3,1}$ der Kosten der Teilnehmer „T2“ und „T3“ sowie die relative Änderung der Gesamtkosten $f_{S,1}$. Die Formel zur Kostenberechnung ergibt sich wie folgt:

$$f_{S,1} \cdot K_{S,1} = K_{T1,1} + f_{T2,1} \cdot K_{T2,1} + f_{T3,1} \cdot K_{T3,1} \quad (1)$$

Führt Teilnehmer „T1“ nun hinreichend viele Experimente durch, so ergibt sich ein lineares Gleichungssystem, das gelöst werden kann, um K_S , K_{T2} und K_{T3} des Basisszenarios zu bestimmen. Daher werden bereits in diesem Fall nur Veränderungen von entsprechenden Ergebnisgrößen mit „plus“ und „minus“ im Vergleich zum Ausgangsszenario als Ergebnis bereitgestellt. Aber bereits diese Informationen können hilfreich für die Bewertung einzelner Szenarien bzw. Maßnahmen (als Änderungen an einem Basisszenario) sein.

Auf die Ergebnisse der Optimierung kann für die Erstellung von Simulationsmodellen direkt zugegriffen werden, was eine Durchgängigkeit der Anwendung impliziert. Bei Festlegung von Standorten und der Zuordnung von SKUs zu den Standorten besteht

hier die Möglichkeit, die Ergebnisse zu den entsprechenden Szenarien der Optimierung zu importieren.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden die Ergebnisse eines Forschungsvorhabens dargestellt, das sich mit der Entwicklung eines Simulationswerkzeuges zur verteilten Modellierung von Liefer- und Distributionsnetzwerken beschäftigt. Die Basis bildet das bestehende Simulationswerkzeug *SimChain*, für das im Rahmen des Projektes die Datenbasis neu aufgesetzt, eine Optimierungskomponente ergänzt und der Simulationskernel neu entwickelt wurde. Die wesentliche Neuheit dieser Cloud-Anwendung besteht in der teilnehmerspezifischen Verschlüsselung der Daten und einem Rechtemanagement, das die Nutzung der Daten für die Definition von Szenarien und die Ergebnisdarstellung zwar einschränkt, aber dennoch die Durchführung von Simulationsexperimenten für unternehmensübergreifende Netzwerke und eine (grobe) Bewertung von Maßnahmen ermöglicht. Um die Daten verteilt zu erheben, ist zudem ein entsprechender Workflow, der die Integration mehrerer Teilnehmer im Modellprozess ermöglicht, entwickelt worden.

Die Fertigstellung der Gesamtapplikation, einschließlich der Ergebnisdarstellung, und Tests anhand historischer Projekte steht für die Simulationskomponente noch aus. Die ersten Ergebnisse hinsichtlich der Performance sind aber vielversprechend. Hinsichtlich der Optimierung ist zudem die Integration von kombinierten Standort- und Tourenplanungsproblemen geplant.

Literatur

- Dijkstra, E.W.: A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. *Numerische Mathematik 1* (1959), S. 269-271.
- Glover, F.W., Laguna, M.: *Tabu Search*, Boston: Kluwer 1997.
- Gutenschwager, K., Alicke, K.: Supply Chain Simulation mit ICON-SimChain. In: Spengler, T., Voß, S., Kopfer, H.: *Logistik Management*, Heidelberg: Physica 2004, S.161-178.
- Gutenschwager, K., Rabe, M., Theile, M., Wilhelm, B.: Comparison of Approaches to Encrypt Data for Supply Chain Simulation. In: Rabe, A., Juan, A., Mustafee, A., Skoogh, A., Jain, S., Johansson, B.: *Proceedings of the 2018 Winter Simulation Conference 2018*, S. 3084-3095.
- Ivanov, D.: *Supply Chain Simulation and Optimization with AnyLogistix*. 2. Aufl. Berlin: Berlin School of Economics and Law 2018.
- Klose, A.: *Standortplanung in distributiven Systemen*, Berlin: Springer 2001.
- Lozano Murciago, A., Villarrubia Gonzalez, G., Lopez Barriuso, A., Hernandez de la Iglesia, D., Revuelta Herrero, J.: Multi Agent Gathering Waste System. *Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal* 4/4 (2015), S. 9-22.
- Paessens, H.: The Savings Algorithm for the Vehicle Routing Problem". *European Journal of Operational Research* 34/3 (1988), S. 336-344.
- Terzi S., Cavalieri S.: Simulation in the Supply Chain Context: A Survey. *Computers in Industry* 53/1 (2004), S. 3-16.