

# Wertstromsimulation unter Nutzung mobiler Endgeräte

## *Value Stream Simulation Using Mobile Devices*

Sven Spieckermann, SimPlan AG, Hanau (Germany),  
sven.spieckermann@simplan.de

Stephan Stauber, SimPlan AG, Regensburg (Germany), stephan.stauber@simplan.de

Michael Wedel, Daimler AG, Esslingen (Germany), michael.wedel@daimler.com

**Abstract:** Value stream simulation is applied on a regular basis to enhance and extend value stream analysis and values stream design. This paper presents a value stream simulation approach using a mobile device (an „app“) to carry out the modelling activities and a cloud-based service to execute the simulation runs. The discussion of the implemented technical concept is the major focus. In addition, the application potential within a German automotive OEM is outlined.

## 1 Einleitung

Die Analyse und Gestaltung von Abläufen in der Produktion mit Hilfe der Wertstrommethode sind in der Forschung und in der industriellen Praxis weit verbreitet (Dal Forno et al. 2014, Schneider et al. 2011). Der Schwerpunkt der Wertstromanalyse (WSA) ist die Darstellung und Analyse von Ist-Abläufen, während sich das Wertstromdesign (WSD) mit der (Um-)Gestaltung dieser Abläufe auseinandersetzt. Eine der ersten veröffentlichten Beschreibungen der Methode findet sich in Rother und Shook (1999), wobei die Ursprünge von WSA und WSD auf die Bemühungen von Toyota zurückgehen, möglichst verschwendungsfreie (schlanke) Produktionssysteme aufzubauen und zu betreiben. Eine grundlegende Einführung sowie eine Reihe von Beispielen zur Anwendung der Methode sind in Erlach (2010) enthalten.

Nicht lange nach der Veröffentlichung von Rother und Shook sind Fallstudien veröffentlicht worden, in denen die Simulation von Wertströmen beschrieben wird (Donatelli und Harris 2001; Lian und Van Landeghem 2002; McDonald et al. 2002). Und wiederum einige Jahre später sind Überlegungen entstanden, Wertstromsimulationsmodelle automatisch aus geeigneten Daten zu erzeugen (Lian und Van Landeghem 2007; Solding und Gullander 2009; Schönemann et al. 2016).

An diese Überlegungen knüpft der vorliegende Beitrag an. Der im folgenden beschriebene Ansatz greift das automatisierte Erzeugen von Simulationsmodellen aus Wertstrommodellen auf, geht aber über die bisher bekannten Lösungen in zweierlei Hinsicht hinaus. Zum einen bietet er die Möglichkeit, Wertströme auf einem mobilen Endgerät mit Hilfe einer unter den Betriebssystemen iOS, Android oder Windows 10 lauffähigen Applikation (App) zu erstellen. Zum anderen können die mit Hilfe der App modellierten Wertströme an einen Simulationsserver „im Hintergrund“ (in der „Cloud“) geschickt werden. Es handelt sich also um ein Anwendungsbeispiel für Simulation in der Cloud (vgl. Taylor et al. 2018 für einen Einblick in den Stand der Technik cloud-basierter Simulation). Dabei sind die Wurzeln zu der in diesem Beitrag vorgestellten Lösung in den Jahren 2015 bis 2017 in einem vom Bundesforschungsministerium geförderten Forschungsprojekt gelegt worden (vgl. Meudt et al. 2017). Im Anschluss an das Forschungsprojekt wurde der Ansatz industrialisiert und befindet sich derzeit in Pilotanwendungen unter anderem bei der Daimler AG.

Der Artikel ist wie folgt aufgebaut: Im nächsten Abschnitt wird der Überblick über die bislang veröffentlichten Ansätze zur Wertstromsimulation etwas vertieft. Den Hauptteil bildet dann die Beschreibung der App- und cloud-basierten Wertstromsimulationslösung. Dabei wird es zum einen um simulationstechnische Aspekte rund um den Datenaustausch zwischen mobilen Endgeräten und dem Simulationstool gehen und zum anderen um die Herausforderungen bei der Erstellung konsistenter, simulierbarer Wertstrommodelle. Ein weiteres Kapitel gibt Einblick in erste Erprobungen der Lösung im Rahmen der Planung von Fertigungslinien aus der Achsen-, Getriebe- und Motorenproduktion, bevor der Beitrag mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick schließt.

## 2 Ansätze zur Wertstromsimulation

Sowohl die Wertstromanalyse als auch das Wertstromdesign basieren auf der statischen Darstellung von Wertströmen zu bestimmten aktuellen oder künftigen Zeitpunkten (vgl. Rother und Shook 1999; Erlach 2010). Diese auf „Momentaufnahmen“ beruhende Vorgehensweise erlaubt eine vergleichsweise einfache und intuitive Anwendung der Methode, bringt aber auch einige Beschränkungen und Nachteile mit sich. McDonald et al. (2002) verweisen etwa darauf, dass sich insbesondere bei einer variantenreichen Fertigung die Variation von Teilebeständen ebenso wie die maximalen Bestände mit einer statischen Methode nur schwer abschätzen lassen. In der von ihnen vorgestellten simulationsbasierten Wertstromuntersuchung einer Motormontage mit dem Simulationstool ARENA arbeiten zudem unterschiedliche Montagebereiche in unterschiedlichen Schichtmodellen. Auch das lässt sich mit einer statischen Analyse nur schwer erfassen. Ähnliche Gründe wie McDonald et al. (2002) führen auch Lian und Van Landeghem (2002) bei einer Darstellung der Grenzen der Wertstrommethode an. In ihrem Fallbeispiel wird eine variantenreiche Fertigung eines Zugerstellers analysiert; die Untersuchung der dynamischen Entwicklung von Durchlaufzeiten und Beständen erfordert die Erweiterung von WSA und WSD zu einer Wertstromsimulation, die wiederum mit der Software ARENA erstellt worden ist.

Während also einerseits die vergleichsweise einfache und intuitive Anwendbarkeit von WSD und WSA für eine hohe Popularität der Wertstrommethode sorgen, führen andererseits die mit einer statischen Analyse verbundenen Beschränkungen

regelmäßig dazu, dass der Bedarf entsteht, Simulation zum Einsatz zu bringen. Weitere Beispiele für Wertstromsimulationsmodelle finden sich etwa in Abdulmalek und Rajgopal (2007), die Wertströme in einem Stahlwerk mit dem Simulationswerkzeug ARENA simulieren, Robinson et al. (2012), die die Anwendung von Simul8 zur Simulation von Anwendungen im Gesundheitswesen vorstellen sowie in Gurumurthy und Kodali (2011), die sich mit der Simulation von Wertströmen in einer Fabrik zur Herstellung von Aluminiumprofilen für Fenster und Türen mit Hilfe von QUEST befassen. Gurumurthy und Kodali (2011) geben in ihrem Beitrag darüber hinaus einen Überblick über 13 weitere Anwendungen von Simulation im Kontext von WSD und WSA.

Grundlage der Wertstrommodellierung sind bis heute im Wesentlichen die von Rother und Shook (1999) vorgestellten Objekte zur Modellierung von Material- und Informationsfluss (vgl. Abbildung 1). Das bestätigt auch der Blick auf die zuvor genannten Beispiele aus der Literatur. Damit bietet sich die Wertstromsimulation als ein Einsatzfeld für die automatische Modellgenerierung an. Automatische Modellgenerierung lässt sich immer dann vergleichsweise erfolgreich einsetzen, wenn ein in Struktur und Verhalten klar umrissener, idealerweise standardisierter Satz von Elementen Basis der Modellbildung ist (vgl. Bergmann und Strassburger 2010, Sprock und McGinnis 2014). Etwas vereinfacht formuliert werden bei der automatischen Modellgenerierung Simulationsmodelle automatisch (ohne manuellen Eingriff eines Modellierers) aus Eingangsdaten erzeugt.

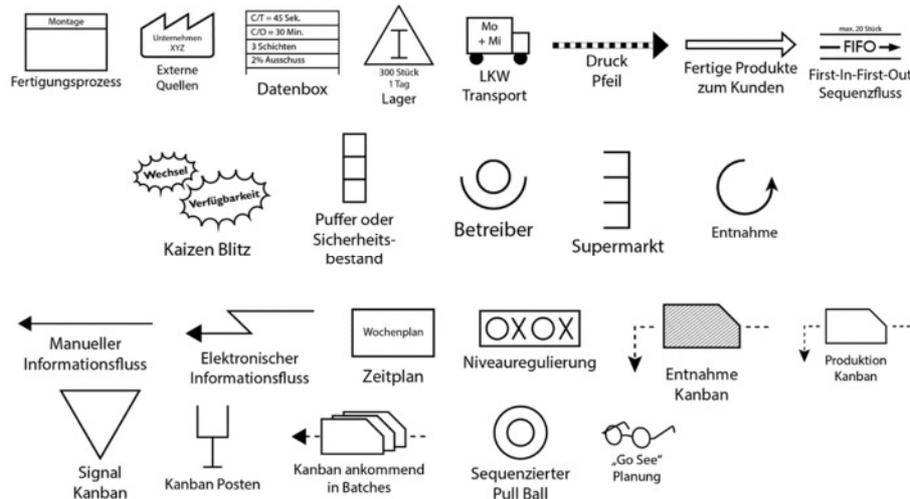


Abbildung 1: Wertstromsymbole in Anlehnung an Rother und Shook (1999)

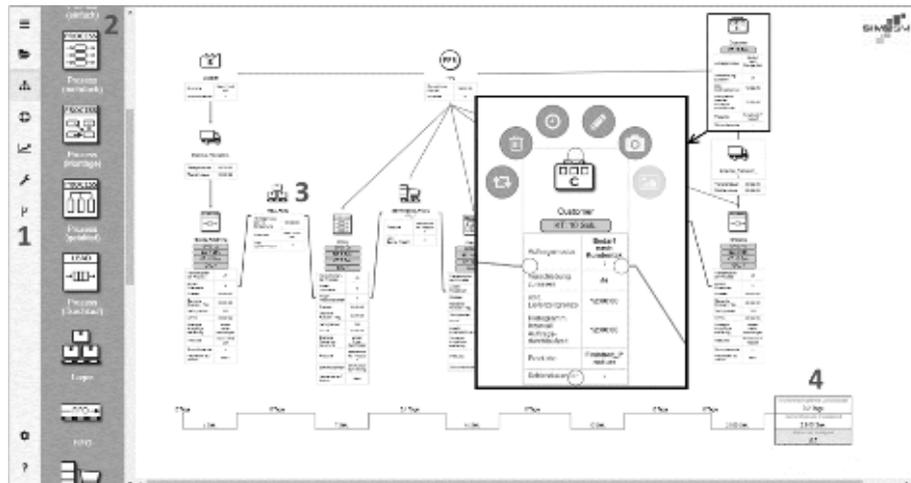
Im Kontext von WSA und WSD bestehen diese Eingangsdaten aus den Darstellungen der Wertströme, aufbauend auf den in Abbildung 1 dargestellten Elementen. Dabei dienen die Elemente, die im oberen Teil der Abbildung dargestellt sind, zur Modellierung von Materialflüssen, wobei mit der sogenannten „Datenbox“ Prozessdaten wie Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten, Störungen oder Ausschuss den Fertigungsprozessen hinzugefügt werden können. Die Elemente im unteren Teil der Abbildung werden zur Modellierung des Informationsflusses verwendet, wobei der

Fokus auf der Produktionssteuerung liegt, wie der Name einiger Elemente andeutet („Produktion Kanban“).

In der Literatur findet sich eine Reihe von Ansätzen zur automatischen Generierung von Wertstromsimulationsmodellen. Lian und Van Landeghem (2007) präsentieren einen datenbasierten Modellgenerator unter Verwendung des Simulationswerkzeugs Enterprise Dynamics. Die Daten zur Erzeugung des Wertstroms liest der Simulator aus einer Datenbank ein. Schönemann et al. (2016) präsentieren einen Ansatz, der unter Verwendung des Simulationswerkzeugs Anylogic Wertstrommodelle auf Basis von Daten erzeugt, die in Excel verwaltet werden. Zusätzlich zu den Material- und Informationsflüssen werden dabei auch die Energieverbräuche der einzelnen Prozessschritte berücksichtigt. Generische Ansätze (wenn auch nicht mit automatischer Generierung der Simulationsmodelle) beschreiben Solding und Gullander (2009) auf Basis des Simulators Automod und Shararah et al. (2011) für das Simulationswerkzeug ExtendSim.

### 3 App- und cloud-basierte Wertstromsimulation

Der Ansatz, der in dieser Arbeit präsentiert wird, greift das automatisierte Erzeugen von Simulations- aus Wertstrommodellen auf, geht aber über die bisher erwähnten Lösungen in zweierlei Hinsicht hinaus. Zum einen bietet er die Möglichkeit, Wertströme auf einem mobilen Endgerät mit Hilfe einer unter den Betriebssystemen iOS, Android oder Windows 10 lauffähigen Applikation (App) zu erstellen. Zum anderen können die so modellierten Wertströme an einen Simulationsserver „im Hintergrund“ geschickt werden.

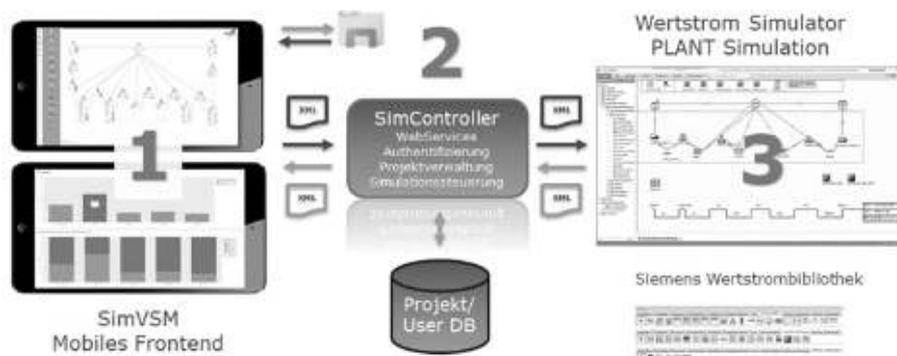


**Abbildung 2:** Eindrücke der mobilen Applikation zur Wertstrommodellierung

Einen Überblick über den Aufbau der Wertstrommodellierungskomponente der App vermittelt Abbildung 2. Ganz links in der Abbildung (gekennzeichnet mit (1)) befindet sich ein Hauptmenü, mit dem beispielsweise in andere Projekte, in alternative Wertströme oder zur Auswertungsansicht der dynamischen (aus der Simulation ermittelten) Kennzahlen gewechselt werden kann. In der mit (2) hervorgehobenen sogenannten „Toolbox“ sind die Elemente dargestellt, mit denen der Anwender einen

Wertstrom aufbauen kann. Die Elemente sind angelehnt an den in Abbildung 1 dargestellten Umfang, können aber hinsichtlich der graphischen Repräsentation und der Parameter angepasst werden. Den größten Teil des Bildschirms nimmt die Modellierungsfläche ein, auf der unter Verwendung der Elemente aus der Toolbox (3) ein Wertstrom aufgebaut wird. Die Grafik im unteren Teil (4) des Bilds schließlich stellt eine nicht-simulationsbasierte Auswertung dar. Hier werden in einer sogenannten „Fieberkurve“ wertschöpfende und nicht wertschöpfende Zeitanteile statisch berechnet, visualisiert und gegenübergestellt sowie der Flussgrad (Verhältnis von gesamter Durchlaufzeit zur Summe der Bearbeitungszeiten) berechnet.

Der Anwender hat die Möglichkeit, einen modellierten Wertstrom an ein ereignisdiskretes Simulationswerkzeug zu übergeben. Abbildung 3 illustriert die zu diesem Zweck umgesetzte Architektur mit ihren Komponenten. Links ist die Wertstrom-App dargestellt, einmal mit der eben beschriebenen Modellierungsumgebung und ein weiteres Mal mit einem Beispiel für eine Darstellung von Simulationsergebnissen – hier mit einer Balkengrafik, die die Auslastung der einzelnen Prozesse im Wertstrom visualisiert.

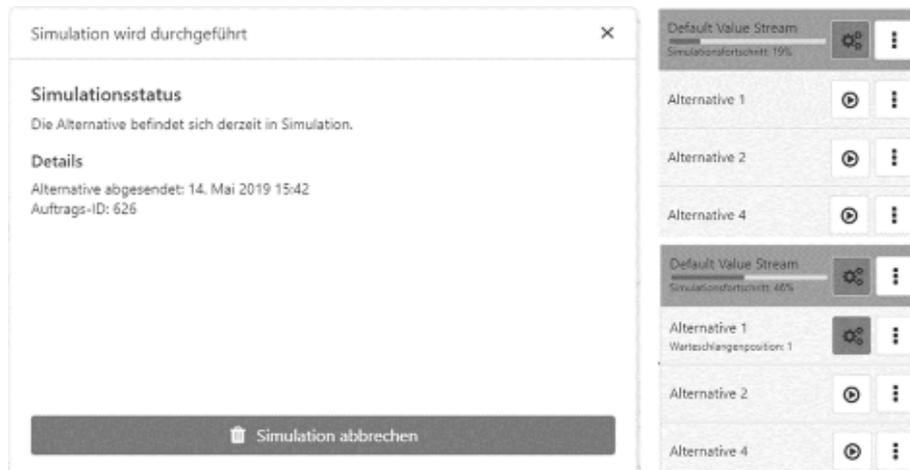


**Abbildung 3:** Vereinfachte Architektur der Wertstromsimulationslösung

Wenn ein modellierter Wertstrom simuliert werden soll, dann werden seine Daten und sämtliche Strukturinformationen in einer XML-Datei codiert und an einen Webservice übergeben, der sie dann wiederum an ein Simulationswerkzeug weiterreicht (zu erkennen in der Mitte (2) von Abbildung 3). Dieses Simulationswerkzeug kann „irgendwo“ auf einem über das Netzwerk (Intra- oder Internet) zugängigen Rechner laufen, wobei explizit beide Varianten als Alternativen vorgesehen sind. Anwender, die bereits Lizenzen der in diesem Fall verwendeten Simulationssoftware Plant Simulation von Siemens im Haus haben und ihre Wertströme nicht nach außen geben möchten, können die Architektur komplett im Intranet aufbauen. Die Durchführung der Simulationsläufe kann aber auch als Service über das Internet erfolgen, so dass die gesamte Implementierung und die Nutzung der Applikation ein Beispiel für „Simulation in der Cloud“ sind (vgl. Taylor et al. 2018 für einen Einblick in den Stand der Technik cloud-basierter Simulation).

Aus den in der XML-Datei enthaltenen Angaben werden von Plant Simulation mit Hilfe automatischer Modellgenerierung Wertstromsimulationsmodelle erzeugt. Dazu muss neben dem Simulationswerkzeug selbst auch eine für und mit diesem Werkzeug erstellte Wertstrombibliothek vorliegen. Dabei handelt es sich um eine von Siemens

angebotene Objektbibliothek, deren Ursprünge auf Brüggemann und Müller (2008) zurückgehen.



**Abbildung 4:** Status- und Fortschrittsanzeigen während der Simulationsläufe

Während der Durchführung eines Simulationslaufs kann sich der Anwender den Fortschritt anzeigen lassen (vgl. Abbildung 4). Da die Durchführung eines Laufs asynchron „im Hintergrund“ auf dem Simulationsserver durchgeführt wird, kann währenddessen mit der App weitergearbeitet werden. Das schließt die Möglichkeit ein, weitere Simulationsläufe für alternative Wertströme zu starten, wie unten rechts in Abbildung 4 zu erkennen ist.



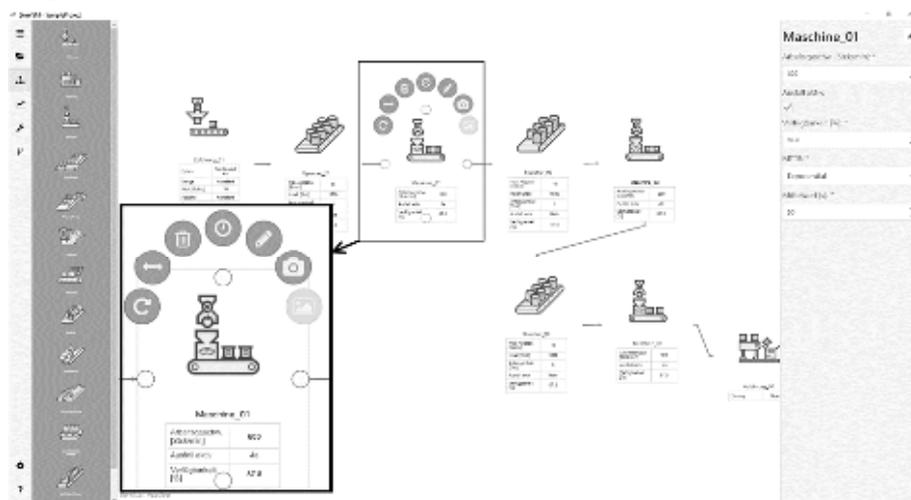
**Abbildung 5:** Überblick über die per Simulation ermittelten Kennzahlen

Nach Abschluss eines jeden Simulationslaufs (für den sowohl die Simulationsdauer pro Lauf als auch die Anzahl der zur statistischen Absicherung durchzuführenden Replikationen in der App parametrisiert werden können) werden die Simulationsergebnisse des jeweiligen Laufs wiederum unter Verwendung eines Webservice als

XML-Datei an die App zurückgegeben. Dort kann sie sich der Benutzer in Form von graphischen Darstellungen anzeigen lassen. Abbildung 5 gibt einen Überblick über die Arten von Kennzahlen, die in der Simulation ermittelt werden und das entsprechende Auswahlménü, das dem Anwender angezeigt wird.

Der SimController und das Simulationstwerkzeug können so konfiguriert werden, dass für jeden Simulationslauf die Eingangs- und Ergebnisdaten sowie das generierte Simulationsmodell auf dem Server gespeichert werden. Bei Bedarf besteht somit jederzeit die Möglichkeit, einen Lauf im Detail nachzuvollziehen. Ein Zugang zum Simulationstwerkzeug und den generierten Simulationsmodellen über die App ist dagegen nicht vorgesehen. Grundsätzlich können also auch ein anderes Simulationstwerkzeug oder eine andere Objektbibliothek verwendet werden, ohne dass an der App etwas geändert werden muss und ohne dass sich für den Anwender unmittelbar etwas ändert.

Tatsächlich ist die gesamte in Abbildung 3 dargestellte Architektur so generisch angelegt, dass damit nicht nur Wertstrommodelle in Simulationsmodelle überführt werden können, sondern grundsätzlich „beliebige“ Darstellungen von Materialflüssen. In dem in Abbildung 6 dargestellten Beispiel wird die Modellierungsfläche der App verwendet, um eine einfache Verpackungslinie zu modellieren, die anschließend mit dem auf die Verpackungsindustrie spezialisierten Simulationstwerkzeug PacSi simuliert werden kann.



**Abbildung 6:** Verwendung der App zur Modellierung einer Verpackungslinie

Voraussetzung dafür ist natürlich, dass die Elemente, die in der App verwendet werden, auch dem Simulationstwerkzeug bekannt sind, und dass definiert und implementiert ist, wie aus diesen Elementen lauffähige Simulationsmodelle erzeugt werden können.

Unabhängig vom verwendeten Simulationstwerkzeug und den in der App zur Verfügung stehenden Elementen, handelt es sich bei der Erzeugung lauffähiger Simulationsmodelle tatsächlich um eine der größten Herausforderungen des hier beschriebenen Konzepts. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass es Wertstromspezialisten vergleichsweise leichtfällt, schnell Wertströme mit der App zu erstellen.

Deutlich schwieriger ist es, die Wertströme so vollständig und konsistent zu modellieren, dass die daraus generierten Simulationsmodelle ausführbar sind. Das fängt bei solchen „Kleinigkeiten“ wie vergessenen Kanten zwischen zwei Materialflusselementen an und geht bis zu den Abhängigkeiten zwischen Losgrößen, Weitergabemengen, Sicherheitsbeständen und Anlieferzyklen. Während die statische Darstellung des Wertstroms bei fehlenden Kanten noch verständlich sein mag, verhält sich das daraus resultierende Modell nicht wie gewünscht. Zwar sind im konkreten Fall der Wertstromsimulationsanwendung zahlreiche Konsistenzprüfungen und Hinweise sowohl in die App als auch in die Objektbibliothek auf Simulationsseite integriert, trotzdem stößt hier die Vereinfachung des Modellierungs- und Simulationsprozesses an Grenzen.

#### 4 Anwendung in der Automobilindustrie

Die Daimler AG hat begonnen, die in diesem Beitrag beschriebene Wertstrommodellierung und -simulation zur Gestaltung von Wertströmen in Achsen-, Motor- und Getriebewerken einzusetzen. In diesen Werken wird seit Jahren zum einen mit der Wertstrommethode und zum anderen mit Simulationswerkzeugen gearbeitet. Das Potenzial in der Verbindung beider Ansätze liegt unter anderem darin, die Durchdringung des Planungsprozesses mit Simulation deutlich zu erhöhen, da ja grundsätzlich jeder aufgenommene oder neu gestaltete Wertstrom „sofort“ auch simuliert werden kann.

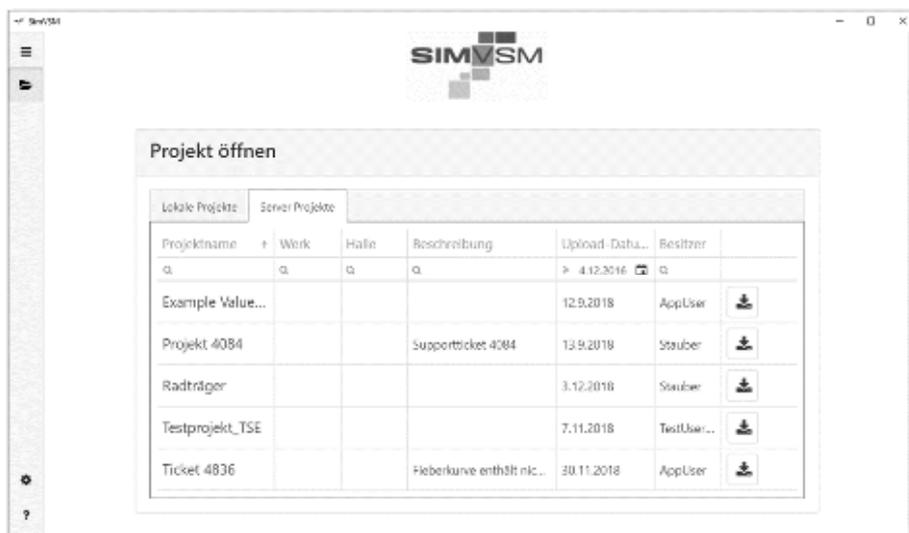


Abbildung 7: Projektverwaltung in der App

Voraussetzung für die Nutzung der Anwendung in einem größeren Team von Wertstromexperten ist nicht nur, dass sich die Wertströme in angemessener Art und Weise modellieren lassen. Vielmehr kommen auch administrative und organisatorische Aspekte dazu. So muss auch ein Austausch von Wertstrommodellen zwischen Teamkollegen möglich sein und es müssen Zugriffsrechte für Wertstrommodelle festgelegt werden können. Dazu bietet die App die Möglichkeit, Projekte lokal (d. h. auf

dem mobilen Endgerät) zu erstellen und zu bearbeiten, diese Projekte auf den Server zu laden und dort für andere Anwender freizugeben. Umgekehrt können freigegebene Projekte anderer Anwender auf dem Server eingesehen und auf das eigene Endgerät heruntergeladen werden. Die Möglichkeit, Modelle lokal zu halten und zu bearbeiten ist wichtig, weil nicht davon ausgegangen werden kann, dass das Endgerät permanenten Online-Zugriff hat.

Derzeit ist die Daimler AG dabei, die Anwendung zu pilotieren und die Modellierung und Simulation für eine Reihe von Wertströmen vorzubereiten. Die Erfahrungen sind grundsätzlich positiv. Eine Herausforderung neben der oben beschriebenen Prüfung der erstellten Wertstrommodelle auf Vollständigkeit und Konsistenz sind die begrenzten Möglichkeiten, die methodenbedingt für die Steuerung von Wertströmen vorgesehen sind (FIFO und Kanban). Die Materialflusssteuerungen sind in den realen Produktionssystemen bei Daimler oft deutlich komplexer, so dass bei einer Wertstrommodellierung zwangsläufig Kompromisse hinsichtlich der Modellierungsgenauigkeit gemacht werden müssen. Inwieweit diese Kompromisse im Rahmen der Linienplanung vertretbar sind, oder ob zur genauen Abbildung der Steuerungen nicht doch detaillierte Materialflusssimulationen erforderlich sind, soll in bevorstehenden Pilotanwendungen untersucht werden. Vorstudien an linearen Verkettungen haben gezeigt, dass sich die Ergebnisse von detaillierten Simulationen von den Ergebnissen von Wertstromsimulationen relativ wenig unterscheiden.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die in diesem Beitrag beschriebene Anwendung stellt ein umfassendes Beispiel für cloud-basierte Simulation dar. Wertstrommodelle können dezentral mit Hilfe von mobilen Endgeräten erstellt und dann „in der Wolke“ simuliert werden. Die Anwendung hat das reine Forschungsstadium hinter sich gelassen und steht in den Appstores aller großen Anbieter zur Verfügung. Eine Herausforderung sind die erforderlichen Kompromisse zwischen der einerseits geforderten Einfachheit bei der Modellierung und der gewünschten Abbildungsmächtigkeit andererseits. Erste Rückmeldungen von Anwendern wie beispielsweise der Daimler AG zeigen, dass mit App-basierter Wertstrommodellierung die Simulationsanwendung auch Nicht-Simulationsexperten und damit einem breiteren Kreis von Anwendern zugänglich gemacht werden kann. Inwieweit sich Ansätze zur App-basierten und cloud-basierten Simulation nachhaltig durchsetzen, müssen die kommenden Jahre zeigen.

## Referenzen

- Abdulmalek, F.A.; Rajgopal, J.: Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107 (2007) 1, S. 223-236.
- Bergmann, S.; Straßburger, S.: Challenges for the Automatic Generation of Simulation Models for Production Systems. In: *Proceedings of the 2010 Summer Computer Simulation Conference (SummerSim '10)*, S. 545-549.
- Brüggemann, H.; Müller, P.: Digitales Wertstromdesign. In: Rabe, M. (Hrsg.): *Advances in Simulation in Production and Logistics Applications*. Tagungsband zur 13. ASIM-Fachtagung, Fraunhofer IRB, Stuttgart, S. 575-584.
- Dal Forno, A.J.; Pereira, F.A.; Forcellini, F.A.; Kipper, L.M.: Value Stream Mapping: a study about the problems and challenges found in the literature from the past 15

- years about application of Lean tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 72 (2014) 5-8, S. 779-790.
- Donatelli, A.J.; Harris, G.A.: Combining value stream mapping and discrete event simulation. In: Gauthier, J.S. (Hrsg.): *Proceedings of the Huntsville Simulation Conference – HSC 2001*, Society for Modeling and Simulation International, San Diego.
- Erlach, K.: *Wertstromdesign – Der Weg zur schlanken Fabrik*. Springer, Berlin, 2010.
- Lian, Y.-H.; Van Landeghem, H.: An application of simulation and value stream mapping in Lean manufacturing. In: Verbraeck, A.; Krug, W. (Hrsg.): *Proceedings of the 14<sup>th</sup> European Simulation Symposium (ESS)*, 2002, S. 300-307.
- Lian, Y.-H.; Van Landeghem, H.: Analysing the effects of Lean manufacturing using a value stream mapping-based simulation generator. *International Journal of Production Research* 45 (2007) 13, S. 3037-3058.
- McDonald, T.; Van Aken, E.M.; Rentes, A.F.: Utilising Simulation to Enhance Value Stream Mapping: A Manufacturing Case Application. *International Journal of Logistics* 5 (2002) 2, S. 213-232.
- Meudt, T.; Kaiser, J.; Metternich, J.; Spieckermann, S.: Wertstrommodellierung und -simulation im Zeichen von Digitalisierung und Industrie 4.0. *ZWF* 112 (2017) 12, S. 865-868.
- Robinson, S.; Radnor, Z.J.; Burgess, N.; Worthington, C.: SimLean: utilising simulation in the implementation of lean in healthcare. *European Journal of Operational Research*, 219 (2012), S. 188-197.
- Rother, M.; Shook, J.: *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*. The Lean Enterprise Institute, Brookline, Cambridge (USA), 1999.
- Schneider, O.; Hohenstein, F.; Günthner, W.A.: Bewertung von Methoden hinsichtlich einer ganzheitlichen Prozessdarstellung. *Logistics Journal: Not reviewed publication*, Vol. 2011, DOI 10.2195.
- Schönemann, M.; Kurle, D.; Herrmann, C.; Thiede, S.: Multi-product EVSM simulation. *Procedia CIRP* 41 (2016), S. 334-339.
- Shararah, M.A.; El-Kilany, K.S.; El-Sayed, A.E.: Value Stream Map Simulator Using ExtendSim. In: Ao, S.I.; Gelman, L.; Hukins, D.W.L.; Hunter, A.; Korsunsky, A.M. (Hrsg.): *Proceedings of the World Congress on Engineering (WCE) 2011*, Vol. I, Newswood, S. 755-758.
- Solding, P.; Gullander, P.: Concepts for simulation based value stream mapping. In: Rossetti, M.D.; Hill, R.R.; Johansson, B.; Dunkin, A.; Ingalls, R.G. (Hrsg.): *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*, S. 2231-2237.
- Sprock, T.; McGinnis, L.: Simulation model generation of discrete event logistics systems (DELS) using software design patterns. In: Tolk, A.; Diallo, S.Y.; Ryzhov, I.O.; Yilmaz, L.; Buckley, S.; Miller, J.A. (Hrsg.): *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference (WSC)*, S. 2714-2725.
- Taylor, S.J.E.; Kiss, T.; Anagnostou, A.; Terstyanszky, G.; Kacsuk, P.; Costes, J.; Fantini, N.: The CloudSME simulation platform and its applications: A generic multi-cloud platform for developing and executing commercial cloud-based simulations. *Future Generation Computer Systems* 88 (2018), S. 524-539.