

Simulation in Produktion und Logistik 2023
Bergmann, Feldkamp, Souren und Straßburger (Hrsg.)
Universitätsverlag Ilmenau, Ilmenau 2023
DOI (Tagungsband): 10.22032/dbt.57476

Datenbeschaffung und -aufbereitung im Kontext einer Lkw-Shuttle-Simulation zwischen Produktionswerk und Logistikzentrum

Data Acquisition and Preparation in the Context of a Truck Shuttle Simulation between Production Plant and Logistics Centre

Marec Kexel, AcuroSim GmbH, Wiesbaden (Germany), kexel@acurosim.com
Walter Wincheringer, Digitales Produktionslabor der Hochschule Koblenz, Koblenz (Germany), wincheringer@hs-koblenz.de

Abstract: The present text reports on data acquisition and preparation in a simulation for evaluating a planned truck shuttle operation from a production plant to a logistic centre. Special aspects include the development of time intervals for the provision of finished goods that must be transported to the logistic centre by truck. Furthermore, the text describes how the travel time between the production facility and the logistic centre can be determined using various approaches. Finally, the results demonstrate the impacts that a more detailed consideration of the aforementioned aspects can have, particularly with respect to dynamic truck allocation and production planning at the production plant.

1 Einleitung

Die manuelle Be- und Entladung mittels Gabelstapler ist mit erheblichen Lkw-Standzeiten, einem Staplerbetrieb und entsprechenden Kosten verbunden. Daher kommen vermehrt automatische Verladesysteme (engl.: Automated Truck Loading Systems, ATLS) für regelmäßige Transportstrecken zum Einsatz (Günthner und Freudl, 1999b).

Dies gilt insbesondere für kurze Transportstrecken, da hierbei der Zeitanteil für die Be- und Entladung im Verhältnis zur Fahrzeit größer ist und daher eine automatische Be- und Entladung ein erhebliches Einsparpotenzial bietet (Meyer et al., 2008). Ebenfalls eignen sich automatische Verladesysteme bei einem entsprechend hohen Verladeaufkommen (Freudl, 2001). Dabei kann je nach ausgewähltem Verladesystem die Verladezeit von ca. 40 Minuten, bei einer manuellen Be- und Entladung, auf jeweils ca. 3 Minuten bei einer automatischen Verladung reduziert werden (Bioly et al., 2014).

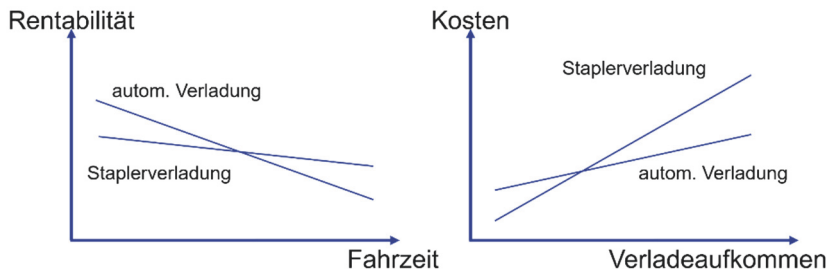


Abbildung 1: Rentabilität vs. Fahrzeit sowie Kosten vs. Verladeaufkommen (Günthner und Freudl, 1999a)

Neben den Vorteilen einer minimierten Verladezeit, erhöhen ATLS die Arbeitssicherheit und können unmittelbar an entsprechende Lagerverwaltungssysteme angebunden werden. Darüber hinaus bieten ATLS die Möglichkeit der Verladung außerhalb der regulären Arbeitszeiten, da kein Staplerpersonal benötigt wird (Sochaczewski, 2010).

Sowohl die Installation der Be- und Entladeeinrichtungen im Produktionswerk und im Logistikzentrum als auch die Ausstattung der Lkw-Auflieger ist mit erheblichen Investitionen verbunden (Penno et al., 2020).

Daher ist bei der Planung die Anzahl der notwendigen Be- und Entladeeinrichtungen als auch die Anzahl der Lkw-Auflieger möglichst exakt zu bestimmen. Eine statische Betrachtung mit durchschnittlichen Fahrzeiten und durchschnittlichen Be- und Entlademengen je Zeiteinheit ist jedoch nicht ausreichend. Es bedarf einer dynamischen Betrachtung über die Zeit.

2 Das System

Vor dieser Herausforderung steht ebenfalls ein Unternehmen aus der Getränkebranche. In Zusammenarbeit mit der AcuroSim soll ein Transportkonzept (inkl. automatischer Verladesysteme) von der Produktionsstätte bis zum ca. 20 km entfernten Logistikzentrum erarbeitet und optimiert werden. Um diese Fragen ebenfalls unter Berücksichtigung der dynamischen Aspekte zu untersuchen, insbesondere aufgrund des Einflusses von Verkehr oder der unterschiedlichen Produktionspläne, entschied sich das Unternehmen für eine Simulation.

In Abbildung 2 ist das zu modellierende System inkl. der entsprechenden Systemgrenzen dargestellt. So wird der Prozess von der Bereitstellung der Fertigware über den Be- und Entladevorgang sowie der Transport abgebildet. Eine Abbildung der jeweiligen Produktions- und detaillierten Einlagerungsprozesse erfolgt nicht.

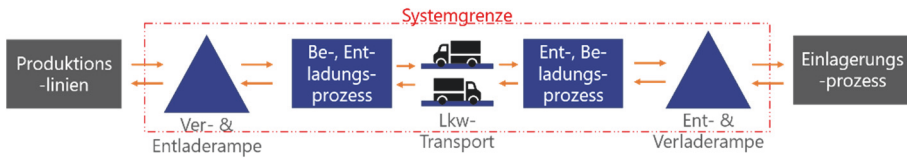


Abbildung 2: Systemgrenzen

Insgesamt teilt sich der Produktionsbetrieb in zwei Produktionsbereiche auf. In Produktionsbereich 1 befinden sich insgesamt drei Produktionslinien, welche transportbereite Fertigware produzieren. Die Fertigware wird hierbei auf Europaletten (EPAL) bereitgestellt.

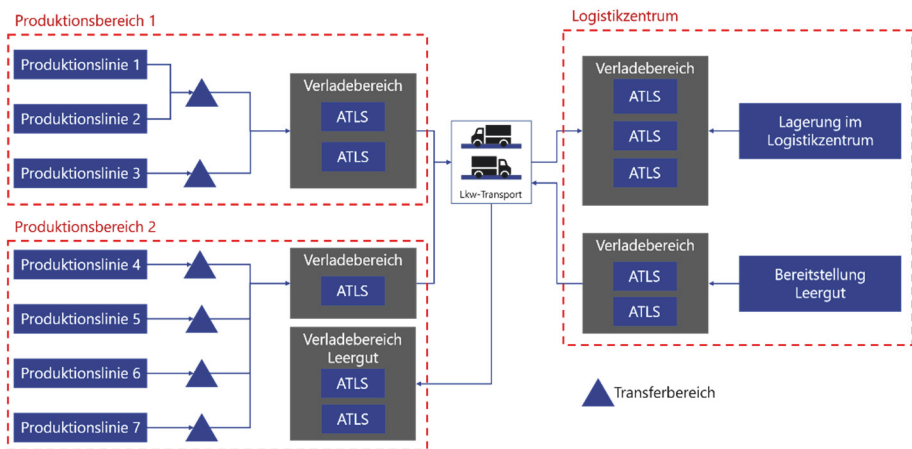


Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung des Materialflusses

Für diesen Bereich stehen zwei automatische Verladesyteme zur Verfügung. Die entsprechenden Produktionslinien sind mittels Fördertechnik (Stetigförderer) an die jeweiligen automatischen Verladesyteme angebunden. Produktionslinie 1 und 2 befüllen hierbei das erste ATLS während Produktionslinie 3 das zweite ATLS versorgt. Die installierte Produktionsleistung der Linie 3 ist etwa doppelt so hoch wie die der Linie 1 bzw. 2.

Im Produktionsbereich 2 befinden sich in Summe vier weitere Produktionslinien, jedoch mit einer deutlich geringeren Produktionsleistung (EPAL/h) im Vergleich zu den Linien 1-3. Für die Verladung der Fertigware auf den entsprechenden Lkw steht ein automatisches Verladesyteme zur Verfügung. Die Produktionslinien im Produktionsbereich 2 (Produktionslinie 4 bis 7) sind mit dem automatischen Verladesyteme verbunden. Zusätzlich besteht hier die Möglichkeit einer manuellen Entnahme und Zuführung von EPAL durch einen Staplerfahrer. Dies ist im Produktionsbereich 1 nicht vorgesehen. Zusätzlich stehen im Produktionsbereich 2

zwei weitere automatische Verladestysteme zur Verfügung. Diese sind ausschließlich für die Anlieferung von Leergut vorgesehen.

Für den Transport zwischen Produktionsbetrieb und Logistikzentrum stehen drei potenzielle Routen zur Auswahl. Diese unterscheiden sich in ihren Längen und Fahrzeiten sowie in der Verkehrsbelastung. Im Logistikzentrum angekommen, stehen drei automatische Verladestysteme für die Annahme der Fertigware zur Verfügung. Zwei ATLS sind für die Annahme der Fertigwaren aus Produktionsbereich 1 vorgesehen, während das dritte ATLS für die Annahme der Fertigware aus Produktionsbereich 2 vorgesehen ist.

Darüber hinaus sind zwei zusätzliche automatische Verladestysteme im Logistikzentrum vorgesehen, welche das benötigte Leergut (unsortiert) für die Versorgung des Produktionsbereichs 2 bereitstellen. In Abhängigkeit des Bedarfs im Produktionsbetrieb kann entsprechendes Leergut aufgenommen und zum Produktionsbetrieb transportiert werden.

3 Problemstellung / Herausforderung

Insgesamt werden mehrere hundert unterschiedliche Produkte auf den Produktionslinien hergestellt, verpackt und anschließend palettiert.

Die Durchführung der Simulationsstudie zur Absicherung des Transportkonzeptes orientiert sich an der Vorgehensweise der VDI 3633. So wurde im Anschluss an die Zielbeschreibung und die Aufgabendefinition zunächst das geplante System analysiert und in einem Konzeptmodell beschrieben. Darauf folgen die Formalisierung und Implementierung. Parallel dazu erfolgte die Erfassung und Aufbereitung der erforderlichen Daten sowie eine Verifizierung und Validierung (V&V) der jeweiligen Phasenergebnisse (VDI 3633 Blatt 1, 2014).

Insbesondere die Beschaffung der Daten in der notwendigen Qualität erwies sich als ein komplexer und zeitaufwendiger Prozess. Dies gilt insbesondere für die Daten, welche eine signifikante Auswirkung auf die Simulationsergebnisse haben.

Einen signifikanten Einfluss hat u.a. der Zeitraum, in dem Fertigware von der Produktionslinie für den Abtransport bereitgestellt wird. Diese Daten werden benötigt, um zu simulieren, wann die Kapazitätsgrenzen der Puffer zwischen den Produktionslinien und den Verladestystemen erreicht sind und ein automatisches Abschalten der Produktionslinien, aufgrund des Rückstaus, erforderlich ist.

Ebenfalls hat die Transportroute und damit einhergehend die Fahrzeit der Lkw einen relevanten Einfluss auf die Simulationsergebnisse. Diese Zeit kann je nach ausgewählter Route, Wochentag und Uhrzeit schwanken. Dementsprechend ist hier ebenfalls eine entsprechende aussagekräftige Datengrundlage erforderlich.

Neben der Beschaffung der erforderlichen Daten sind weitere Restriktionen im Simulationsmodell zu berücksichtigen.

So ist die Lkw-Kapazität für die Anzahl an Paletten auf 30 Stück begrenzt. Diese werden im Lkw auf 3 Reihen à 10 Paletten angeordnet, wobei die Beladung der 3 Reihen stets parallel mit einem Artikel von einer Produktionslinie erfolgt.

Zusätzlich ist bei der Verladung drauf zu achten, dass die maximal zulässige Zuladung von 22,5 t pro Lkw nicht überschritten werden darf. Bei der Vielfalt an unterschiedlichen Produkten variiert das Gewicht je Palette zwischen 600 kg bis 1.000

kg. So kann je nach produziertem Produkt die maximale Zuladung bereits nach 21 Paletten (Worst-Case) überschritten werden. Theoretisch ist dabei die Aufnahme einer weiteren Palette aufgrund der Zuladung von 22,5t weiterhin zulässig, jedoch ist dies aufgrund der oben beschriebenen Restriktion der Ladungssicherung nicht gestattet.

Der Produktionsplan und die zu produzierenden Artikel haben ebenfalls Einfluss auf die Leistung der unterschiedlichen Produktionslinien. So variiert die Leistung zwischen 8 EPAL und 40 EPAL pro Stunde.

4 Ermittlung der Daten

Im Bereich der Bereitstellung von Fertigware ist lediglich die Spitzenleistung der jeweiligen Produktionslinien bekannt. Aufgrund von technischen Störungen, Rüstzeiten, Reinigungszeiten etc. weichen die Realdaten von diesen theoretischen Spitzenleistungen zum Teil erheblich ab. Überdies beeinflussen unterschiedliche Produkte, Verpackungsformen und Produktionspläne die Durchsatzleistung der jeweiligen Produktionslinien. Somit bietet die Abbildung der Spitzenleistung im Simulationsmodell keine hinreichende Datengrundlage.

Um die erforderlichen Daten zu erhalten, besteht die Möglichkeit, eine manuelle Zeitaufnahme pro Produktionslinie und Produkt durchzuführen (Gutenschwager et al., 2017). Diese ist jedoch mit einem hohen Aufwand verbunden. Alternativ besteht die Möglichkeit, eine automatische Zählleinrichtung temporär zu installieren. Dies ist mit entsprechenden Kosten verbunden und ergibt aufgrund des geringen Aufzeichnungszeitraums ebenso keine ausreichende Datengenauigkeit.

In der Praxis werden in bestimmten Anwendungsbereichen häufig aus unterschiedlichen Gründen (Energieverbrauch, Qualitätsaspekte, etc.) Daten erhoben und gespeichert, jedoch nicht weiterverwendet. Auch im Bereich der Palettierer an den Produktionslinien ist dies der Fall.

Am Ende der jeweiligen Produktionslinie wird jede Fertigwaren-Palette mit einem Paletten-Etikett und der Nummer der Versandeinheit, kurz NVE, versehen (Koether, 2012). Dies wird durch eine automatisierte Etiketten-Applikation angebracht. Während diesem Prozess werden u.a. Daten zu Artikel-Nr., Auftragsnummer, Chargennummer, Anzahl der Produkte, Gewicht pro Palette sowie ein entsprechender Zeitstempel erfasst und in einer Datenbank für die Rückverfolgung abgelegt. Mittels der erfassten Zeitstempel und der Unterscheidung je Artikel-Nr., können durch eine entsprechende Datenanalyse die Zeitintervalle für jedes Produkt ermitteln werden.

Hierzu sind bei 7 vorhandenen Produktionslinien und mehr als 200.000 Dateneinträgen pro Produktionslinie und Jahr über 2 Mio. Datensätze zu bereinigen und auszuwerten. Weiterhin sind diese Daten zu sinnvollen Produktfamilien zusammenzufassen.

Um die Daten in eine Verteilung für das entsprechende Ankunftsintervall der artikelspezifischen Paletten zu überführen, wurde die Datenaufbereitung automatisiert. Durch diese Vorgehensweise konnten realitätsnahe Ankunftsintervalle je Produkt im Simulationsmodell berücksichtigt werden.

Hierzu wurden zunächst die zeitliche Differenz je EPAL bei gleichem Artikel bestimmt. Die jeweiligen Intervalle wurden im Anschluss in entsprechende Produktfamilien untergliedert. Die Zuordnung zu den jeweiligen Produktfamilien wurde durch das Industrieunternehmen vorgegeben. Im nächsten Schritt wurden die

Zeitintervalle in ein Histogramm überführt und analysiert. Hierbei konnten zum Teil deutliche Unterschiede in den Zeitintervallen identifiziert werden. Dabei lagen die Zeitintervalle zwischen 1 Minute und 1,5 Tagen. Diese Unterschiede entstanden durch längere Stillstände der Produktionslinien oder manuellen Eingriffe. Gründe dafür sind u.a. Störungen, Wartungs-, Instandsetzungsmaßnahmen oder Reinigungstätigkeiten.

In Zusammenarbeit mit dem Industrieunternehmen wurden anschließend entsprechende Obergrenzen für die Histogramme in Abhängigkeit der Produktionsfamilie und Produktionslinie festgelegt. Diese beinhalten weiterhin den Einfluss entsprechender Kurzzeitstörungen, filtern jedoch den Einfluss größerer Störungen und Wartungen heraus.

Die finalen Verteilungen wurden anschließend in einem entsprechenden Dateiformat gespeichert und dem Simulationsmodell zur Verfügung gestellt. Neben den Zeitintervallen wurden ebenfalls die Paletten-Gewichte ausgewertet und den jeweiligen Produktfamilien zugewiesen, um diese ebenfalls im Simulationsmodell zu berücksichtigen.

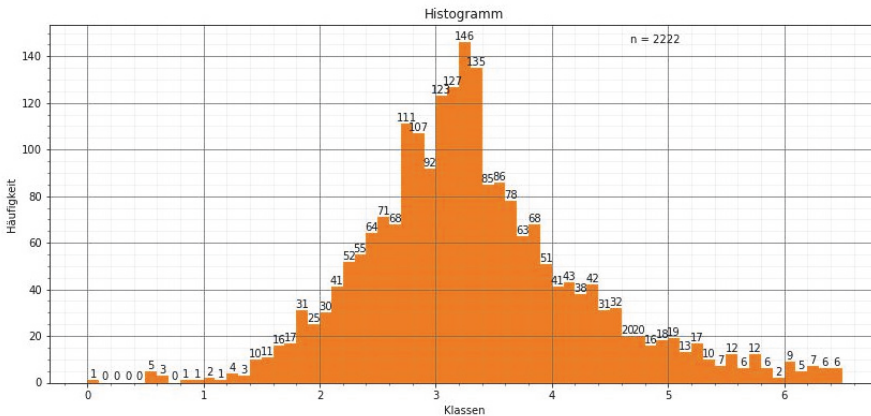


Abbildung 4: Aufbereitete Daten eines Produkts

Für die Fahrzeit der Lkw sind keine Daten vorhanden, da das Logistikzentrum noch in der Bauphase ist. Hier wurden für die Ermittlung der fehlenden Informationen zwei mögliche Methoden evaluiert:

Die erste Methode ist die Berechnung einer estimated time of arrival, kurz ETA. Dabei wird auf Basis der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit, des Wochentags, der Uhrzeit und der aktuellen Verkehrslage die voraussichtliche Ankunftszeit bestimmt. Durch die Nutzung von historischen Daten besteht die Möglichkeit, unterschiedliche Transportzeiten für die jeweiligen Wochentage und Uhrzeiten zu evaluieren. Die Genauigkeit ist dabei abhängig von der Anzahl an verfügbaren Datensätzen und des genutzten Fahrzeugs (Pkw vs. Lkw). Weiterhin ist die Genauigkeit für längere Strecken wesentlich besser als für Kurzstrecken, da sich einzelne Stopps bei kurzen Fahrzeiten viel stärker auswirken als auf längeren Strecken. Für stark befahrene Strecken und Autobahnen, beispielsweise im Fernverkehr, sind ausreichend Daten

verfügbar. Für Land- oder Kreisstraßen fehlen diese häufig. Dadurch ist eine ETA-Berechnung für diese Routen nicht zielführend.

Aufgrund der ländlichen Region des Produktionswerks und des Logistikzentrums sowie der Nutzung von überwiegend Land- und Kreisstraßen bietet dieser Ansatz keine ausreichende Datenqualität für die Ermittlung der Fahrzeit. Weiterhin wird bei der Berechnung der ETA je nach Dienstleister nicht unterschieden, ob es sich bei dem betrachteten Fahrzeug um einen Pkw oder Lkw handelt.

Somit musste auf eine manuelle Zeiterfassung der Transportzeiten zurückgegriffen werden. Hierzu wurde definiert, ab wann die Zeitaufnahme startet und ab welchem Punkt sie beendet wird. Ebenfalls wurde die Uhrzeit, der Wochentag sowie sonstige Anmerkungen erfasst. Dies ist für jede Route mithilfe von GPS-Trackern, die im Lkw mitgeführt wurden, mehrfach durchgeführt worden.

Die dadurch gewonnenen Daten zeigten zum Teil erhebliche Zeitdifferenzen auf. Insbesondere langsame Kraftfahrzeuge, wie landwirtschaftliche Fahrzeuge, welche in Teilstrecken nicht überholt werden können, sorgen dafür, dass sich die durchschnittliche Transportzeit von ca. 20 Minuten pro Fahrt auf bis zu 30 Minuten, und mehr erhöht.

Um diese dynamischen Einflüsse ebenfalls in der Simulation zu berücksichtigen, ist eine Überführung der erfassten Fahrdaten in eine entsprechende Verteilung (pro Wochentag und Uhrzeit) erforderlich. Der Umfang der aufgezeichneten Daten war jedoch nicht ausreichend, um eine solche Verteilung abzuleiten. Lediglich die durchschnittliche Transportzeit wurde ermittelt und durch die empirische Erfahrung der Lkw-Fahrer bestätigt.

Um dennoch eine entsprechende Verteilung der Fahrzeiten ableiten zu können, wurde auf Erfahrungswerte der statistischen Schwankungen bei der ETA-Berechnung für Kurzstrecken (10 bis 30 km) zurückgegriffen (Hillen, 2021). Mit diesen Informationen wurde die Verteilung der Fahrzeit für die Simulation modelliert. In Abbildung 5 ist eine solche Verteilung für die Route 1 und die Tageszeit 12:00 Uhr abgebildet. Diese Verteilungen wurden abschließend ebenfalls mit den erfahrenen Lkw-Fahrern validiert und auf Plausibilität geprüft.

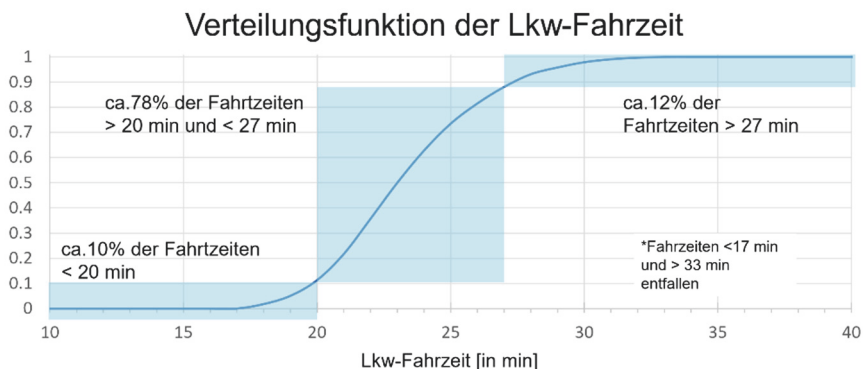


Abbildung 5: Verteilungsfunktion der Fahrzeit für Route 1 (12 Uhr)

5 Simulationsmodell

Die Abbildung des Simulationsmodells erfolgt in der Simulationssoftware WITNESS Horizon. Hierzu wurden die im Kapitel 2 beschriebenen Systembestandteile sowie die in Kapitel 3 erläuterten Restriktionen (Ladungssicherung und maximal zulässige Zuladung) abgebildet sowie verifiziert und validiert.

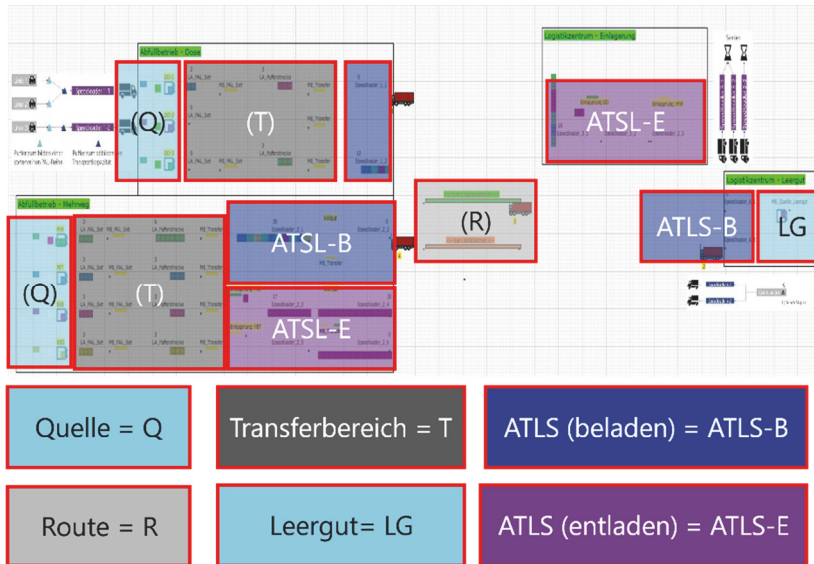


Abbildung 6: Übersicht über das Simulationsmodell

Die Produktionslinien sind im Simulationsmodell als entsprechende Quelle hinterlegt. Dabei kann pro Produktionslinie ein Produktionsplan inkl. Rüstzeiten und Reinigungsschichten hinterlegt werden. Die Zeit zur Generierung einer EPAL erfolgt produktspezifisch anhand der in Kapitel 4 beschriebenen Histogramme.

Der Transferbereich bildet die kapazitiven Puffer zwischen den jeweiligen Produktionslinien und den automatischen Verladesystemen ab. Zusätzlich ist eine Mindestverweilzeit für diesen Bereich vorgesehen, sodass die entsprechenden Transportzeiten berücksichtigt werden. Eine Abbildung der Steuerungslogiken der Förderer sowie die Abbildung der jeweiligen Fördergeschwindigkeiten sind aufgrund des vernachlässigbaren Einflusses nicht erforderlich.

Anschließend an den Transferbereich erfolgt die simulative Abbildung der automatischen Verladesysteme. Der Bereich ATLS-B markiert die Systeme, welche zum Beladen eines Lkws genutzt werden. Der Bereiche ATLS-E kennzeichnet automatische Verladesysteme, welche für das Entladen eines Lkw vorgesehen sind. Ein automatisches Verladesystem, welches sowohl Be- als auch Entladevorgänge durchführt, ist aktuell nicht vorgesehen. Mit den abgebildeten Verladesystemen können bis zu 30 EPAL in ca. 3 Minuten verladen werden.

Bei den automatischen Verladesystemen, welche ausschließlich für das Entladen eines Lkws vorgesehen sind, ist zusätzlich ein vereinfachter Einlagerungsprozess im Simulationsmodell implementiert. Dieser gewährleistet, dass nach der Entladung

eines Lkws nicht unmittelbar ein weiterer Lkw entladen werden kann. Dies ist erst möglich, wenn die entsprechenden EPALs von den jeweiligen automatischen Verladesystemen entfernt wurden. Da es sich bei diesen Einlagerungsprozessen um eine manuelle Tätigkeit handelt, ist die Einlagerungszeit mit einer entsprechenden Erlang-K-Verteilung versehen (Gutenschwager et al., 2017).

Im Bereich LG befindet sich die Bereitstellung des Leerguts. Dieses wird erzeugt, sobald der Bedarf im Produktionsbereich ausgelöst wird. Anschließend erfolgt die Bereitstellung des notwendigen Leerguts in einer Menge von 30 EPAL in einem Zeitintervall von ca. 25 Minuten. Nach der Bereitstellung erfolgt die Aufnahme durch einen Lkw. Aufgrund der manuellen Bereitstellung des Leerguts auf das entsprechende Verladesystem, ist diese Zeit ebenfalls mit einer Erlang-K-Verteilung zu versehen.

Der Bereich R markiert die Implementierung der unterschiedlichen Routen. Hierbei sind im Simulationsmodell die entsprechenden Fahrzeiten inkl. Verteilung hinterlegt. Für den Hin- als auch für den Rückweg kann jeweils eine der drei Routen gewählt und somit der Einfluss auf das Gesamtsystem untersucht werden.

Anhand dieser Informationen kann beispielsweise, in Abhängigkeit unterschiedlicher Produktionspläne und Fahrtrouten, untersucht werden, wie viele Lkws benötigt werden, und ob ggf. ein Springereinsatz in den Pausen der Lkw-Fahrer von Vorteil ist.

6 Auswirkung

Mithilfe dieser Daten konnten unterschiedliche, realistische Einflüsse in Bezug auf die Produktionsplanung und den signifikanten Einfluss der Fahrzeit der Lkw evaluiert werden. Mit lediglich einer durchschnittlichen Fahrzeit und der jeweiligen Spitzenlast pro Produktionslinie wäre dies nicht möglich und eine erhebliche Überdimensionierung der Installationen wäre die Folge.

So konnte aufgezeigt werden, wann ein Mehrbedarf an Lkws vorliegt oder eine geringere Anzahl ausreichend ist. Beispielsweise ist für den Produktionsplan in der Frühschicht eine Anzahl von vier Lkw erforderlich. In der Nachtschicht wiederum sind 3 Lkw ausreichend. Dies führte zu Überlegungen über die Implementierung eines flexiblen Personaleinsatzes im Bereich des Lkw-Transports und einer dynamischen Pausengestaltung der Lkw-Fahrer.

Weiterhin konnte aufgezeigt werden, dass im Produktionsbereich 2 eine höhere Verladekapazität zur Verfügung steht als für die Entladung der Fertigware von Produktionsbereich 2 im Logistikzentrum. Dies führte zu Wartezeiten der Lkw, da für die Entladung der Fertigware ausschließlich ein automatisches Verladesystem vorgesehen war. Der Engpass ist hierbei nicht die Entladegeschwindigkeit der automatischen Verladesysteme, sondern die Einlagerungszeit in das nachgelagerte Blocklager. So bestand die Möglichkeit, in ein zusätzliches Verladesystem für die Entladung von Fertigware aus Produktionsbereich 2 zu investieren. Durch die Simulation konnte jedoch dargestellt werden, dass das Auflösen der strikten Zuweisung eines automatischen Verladesystems für die Entladung der Fertigware aus Produktionsbereich 2 ausreichend ist, um die Wartezeiten auf ein Minimum zu

reduzieren. Somit ist keine zusätzliche Investition in ein weiteres Verladensystem erforderlich.

Ebenso konnte aufgezeigt werden, welche Auswirkung unterschiedliche Produktionspläne (Produkte mit hoher Ausbringungsmenge vs. niedrige Ausbringungsmenge) auf das Risiko für einen Rückstau haben. Insbesondere während Tageszeiten mit erhöhtem Verkehrsaufkommen. Dadurch konnten entsprechende Empfehlungen für die Produktionsplanung abgeleitet werden, insbesondere die Fertigung von bestimmten Produkt-Linien-Kombinationen zu bestimmten Tageszeiten.

Überdies konnten weitere Maßnahmen erarbeitet werden, um die entsprechenden Transportkonzepte zu optimieren und das Risiko eines Produktionsstopps zu minimieren.

Literatur

- Bioly, S.; Sandhaus, G.; Klumpp, M.: Wertorientierte Maßnahmen für eine Gestaltung des demografischen Wandels in Logistik und Verkehr (2014).
- Freudl, G.: Planung von Stückgut-Umschlagbereichen mit Hilfe wissensbasierter Bewertungsmethoden. München: Utz Wiss 2001.
- Günthner, W.A.; Freudl, G.: Automatisierter Stückgutumschlag: welche Möglichkeiten bietet der Markt dem Verlader? Distribution (1999a), S. 44–47.
- Günthner, W.A.; Freudl, G.: Grenzwertbetrachtung, Alternativen zur Staplerverladung - wann ist eine Automatisierung sinnvoll? Brauindustrie (1999b) 05, S. 279–285.
- Gutenschwager, K.; Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S.: Simulation in Produktion und Logistik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2017.
- Hillen, T.S., 2021: ETA-Berechnung. Online verfügbar unter <https://www.maptrip.de/eta-berechnung>, zuletzt aktualisiert am 13.01.2023, zuletzt geprüft am 14.04.2023.
- Koether, R.: Identifikation und Codierung. In: Distributionslogistik: Effiziente Absicherung der Lieferfähigkeit. Wiesbaden: Gabler Verlag 2012, S. 171–184.
- Meyer, C.; Wiedenmann, R.; Unruh, V.: Automatisiertes Verladen und Ladungssicherung an der Rampe. MM Logistik (2008).
- Penno, E.; Weise, S.; Golder, M.: Flexibles LKW-Schnellladesystem. Logistics Journal : Proceedings (2020) Vol. 2020.
- Sochaczewski, A.: Technologieinformation: Automatische LKW Be- und Entladesysteme (2010).
- VDI 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen (2014).