

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Entwicklung einer Methode für RFID-generierte Daten zur Analyse und Visualisierung von Materialflüssen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Christoph Ecker

01325018 (066482)

Friedrich-Knauer-Gasse 1-3/3/4

1100 Wien

Wien, im Januar 2019

Christoph Ecker



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Januar 2019

Christoph Ecker

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mich während meiner gesamten Studienzeit unterstützt und gefördert haben.

Vor allem möchte ich mich bei meinen Eltern und meiner Schwester für ihre bedingungslose Unterstützung bedanken. Ohne sie wäre mein Studienabschluss nie möglich gewesen. Danke für die Hilfe in schwierigen Phasen des Studiums und für das Ertragen meiner Launen während Prüfungszeiten.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Studienkollegen für gute Zusammenarbeit bei Gruppenarbeiten und ihre fachliche Unterstützung bei Prüfungsvorbereitungen bedanken.

Besonders möchte ich mich bei meinen Arbeitskollegen bei Fraunhofer Austria für ihre fachliche, aber besonders auch für ihre Menschlichkeit bedanken.

Mein besonderer Dank gilt aber meinem Betreuer Dipl.-Ing. Rainer Pascher für seine kompetente und hilfreiche Unterstützung bei der Erstellung meiner Diplomarbeit. Sein konstruktives und fachliches Feedback waren besonders hilfreich, um bei meiner Arbeit voran zu kommen. Danke, dass ich jederzeit Expertise einholen konnte.

Kurzfassung

Da viele Unternehmen keine Transparenz über ihre eigenen Prozesse haben bzw. nur fehlende oder falsche Datensätze existieren, ist es oft nicht möglich, aussagekräftige Materialflussanalysen durchzuführen. Daher wurde von Fraunhofer Austria eine aktive, temporäre RFID-Trackinglösung geschaffen, deren Datenauswertung Optimierungspotentiale wie die Reduktion des hohen Zeitaufwands, den Abbau potentieller Fehlerquellen und Datenschnittstellen sowie die Schaffung von verbesserter Benutzerfreundlichkeit dokumentiert. Außerdem war es bisher nicht möglich, Echtzeit-Analysen oder Echtzeit-Visualisierungen durchzuführen. Um diese Herausforderungen beseitigen und Transparenz in der Intralogistik von Unternehmen schaffen zu können, wird im Rahmen dieser Diplomarbeit eine optimierte Auswertungsmethode für RFID-generierte Daten für Materialflussanalysen entwickelt.

Um die genannten Ziele erreichen zu können, werden zu Beginn der Arbeit theoretische Grundlagen zu den Themen innerbetrieblicher Materialfluss und Materialflussanalyse sowie dem Einsatz von RFID in der Intralogistik gegeben. Darauf aufbauend erfolgt eine State-of-the-Art Literaturrecherche zum Thema „Materialflussanalyse mittels RFID“. Dabei sollen Methoden zur Optimierung von Materialflüssen durch den Einsatz von RFID aufgezeigt werden, um die Ergebnisse der entwickelten Auswertungsmethode evaluieren zu können. Anschließend erfolgt die Erstellung des Auswertungstools „ToCV“ (Tool for Calculation and Visualisation of Material Flows) in der Programmiersprache Visual Basic. Schwerpunkt dabei ist die Entwicklung von Algorithmen zur Bereinigung von Fehlmessungen aufgrund von unternehmensspezifischen Störgrößen. Dies soll die korrekte Berechnung und Visualisierung von Transportintensitäten und Verweildauern von Flurförderzeugen in Echtzeit ermöglichen. Abschließend erfolgt der praktische Einsatz der Methode im Rahmen eines Fallbeispiels in der Chemieindustrie.

Anhand der Gegenüberstellung der entwickelten Auswertungsmethode mit dem State-of-the-Art kann gezeigt werden, dass es diese Art der temporären, aktiven RFID- Trackinglösung in Kombination mit der unternehmensspezifisch adaptierbaren Auswertungsmethode noch nicht gibt. Durch die Anwendung des entwickelten Auswertungstools im Rahmen des Fallbeispiels kann belegt werden, dass alle Anforderungen an das Auswertungstool erfüllt werden. Außerdem konnten dem analysierten Unternehmen trotz fehlender Buchungsdaten Optimierungen bezüglich des Transportaufkommens der Gabelstapler, die Reduktion der Materialflusskosten sowie Transparenz bezüglich der intralogistischen Prozesse des Unternehmens aufgezeigt werden.

Abstract

To create data for the analysis of material flow is one of the most important operations for companies because of the lack of transparency of their own processes. Fraunhofer Austria created an active temporary RFID-Tracking system. But this system is characterized by the high risk of failures, a lot of data interfaces, the missing of usability and the extensive effort of time. In addition real-time analysis and real-time visualization are not possible. The aim of this thesis is to develop an optimized evaluation method for RFID generated Data for material flow systems.

First, a review of current literature on the topics in-house material flow, material flow analysis and the use of RFID in intralogistics is undertaken. Within this thesis an extensive literature research is conducted to define the state of the art on the subject of material flow with RFID. Methods to optimize material flow with RFID are shown to compare them with the results of this thesis. Then the evaluation tool "ToCV" (tool for calculation and visualisation of material flows) with Visual Basic is programmed. The focus is set on algorithms to adjust incorrect measurement in cause of company-specific disturbance. The aims of this tool are enabling the correct calculation and visualization of transport intensity and residence time of industrial trucks in real-time. Finally this method is practically applied in a case study in the chemical industry.

The main outcome of this thesis is a new kind of temporary active RFID-Tracking solution in combination with this company-specific evaluation method which did not exist until yet. The findings of this research show that all requirements of this evaluation tool are fulfilled. Another significant outcome of this thesis is in spite of the lack of data an optimization of transport volume of the forklift, the reduction of material flow costs and the intralogistics processes of the analysed company is realized.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	4
1.2	Forschungsfragen und Ziele der Arbeit	6
1.3	Lösungsansatz und Aufbau der Arbeit.....	7
2	Theoretische Grundlagen.....	9
2.1	Intralogistik und innerbetrieblicher Transport.....	9
2.2	Materialfluss	10
2.2.1	Komponenten des Materialflusses	12
2.2.2	Materialflusskosten	13
2.3	Materialflussanalyse	14
2.3.1	Festlegung der Randbedingungen.....	17
2.3.2	Datenerhebung	17
2.3.3	Datenauswertung.....	19
2.3.4	Visualisierung.....	21
2.4	Einsatz von RFID in der Logistik	24
2.4.1	RFID	25
2.4.2	Transponder.....	25
2.4.3	Datenübertragung	26
2.4.4	Betriebsarten.....	27
2.4.5	Frequenzbereiche	28
2.4.6	Transponder-Bauformen	30
2.4.7	Art der Datenspeicherung	30
2.4.8	Logistische Anforderungen an RFID-Systeme	31
3	State-of-the-Art „Materialflussanalyse mittels RFID“	34
4	Entwicklung einer Auswertungsmethode	38
4.1	Ausgangszustand	39
4.1.1	Hardware	39
4.1.2	Software.....	42
4.2	Optimierungspotentiale der Auswertungsmethode	44
4.3	Auswahl einer Programmiersprache.....	45

4.4	Vorgehensweise bei der Programmierung	46
4.4.1	Basis-Einstellungen	52
4.4.2	Anbindung der SQL- Datenbank.....	54
4.4.3	Aufbereitung der RFID-Daten	55
4.4.4	Berechnung von Transportintensitäten und Verweildauern	59
4.4.5	Visualisierung und Export der Daten.....	61
4.4.6	Repeater-Kontroll-Funktion	63
4.5	Funktionen des Auswertungstools „ToCV“	65
4.5.1	Neues Projekt anlegen.....	65
4.5.2	Layout-Einstellungen	67
4.5.3	Repeater-Einstellungen	70
4.5.4	Tag-Einstellungen	72
4.5.5	Bestehendes Projekt laden	73
4.5.6	Auswertung.....	74
4.5.7	Daten-Export.....	77
4.5.8	Parameter-Einstellungen	78
4.5.9	Repeater-Kontrolle.....	80
5	Praktische Anwendung der Auswertungsmethode.....	83
5.1	Beschreibung des Unternehmens	83
5.2	Problemstellung.....	85
5.3	Temporärer Aufbau der aktiven RFID-Trackinglösung	85
5.4	Anwendung der Auswertungsmethode.....	89
5.5	Ergebnisse und Fazit des Fallbeispiels	92
5.5.1	Ergebnisse der Auswertung.....	92
5.5.2	Interpretation der Ergebnisse.....	98
5.5.3	Fazit.....	98
6	Auswertung und Resultate	100
6.1	Resultate	100
6.2	Ausblick.....	101
7	Anhang.....	103
7.1	Experteninterview	103
7.2	Ermittelte Transportintensitäten des Fallbeispiels	107

8	Literaturverzeichnis	115
8.1	Verwendete Literatur	115
8.2	Internetquellen.....	118
8.3	Experteninterview	118
8.4	Weiterführende Literatur.....	118
9	Abbildungsverzeichnis	120
10	Tabellenverzeichnis	122
11	Abkürzungsverzeichnis	123

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

„Materialfluss ist die Verkettung aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von Gütern innerhalb festgelegter Bereiche. Zum Materialfluss gehören alle Formen des Durchlaufs von Arbeitsgegenständen (z. B. Stoffe, Teile, Datenträger) durch ein System. Man unterscheidet: Bearbeitung, Prüfen, Handhaben, Fördern, Aufenthalt und Lagern.“¹

Um den Materialfluss von Teilen, Komponenten und Produkten, die Durchlaufzeit des Materials, den Einsatz der Fördermittel und Materialflusskosten zu identifizieren, werden Materialflussanalysen eingesetzt.²

Nach Martin ist unter dem Begriff Materialflussanalyse „... die Erfassung des Transportvorgangs und -ablaufs sowie alle gewollten und ungewollten Lagerungen aller Materialien des innerbetrieblichen Bereiches des Unternehmens zu verstehen.“³

Anlass für Materialflussanalysen sind u. a. geplante Investitionen, Betriebsumstellungen, hohe Materialflusskosten, hohe Lagerbestände, Materialflusstörungen, Engpässe oder Unfälle.⁴ Ziel jeder Materialflussanalyse ist die Schwachstellenerkennung sowie das Auffinden deren Ursachen und Kosten. Darauf aufbauend werden Maßnahmen für einen optimalen Materialfluss gesetzt.⁵

Um Verbesserungspotentiale überhaupt ableiten zu können, ist eine möglichst präzise Ist-Zustandsaufnahme erforderlich. Die dazu benötigten Datenquellen wie Produktionsprogramme, Stücklisten, Losgrößen, Arbeits- und Fertigungspläne oder Anlagendateien können aber nur unter hohem Aufwand beschafft bzw. erfasst werden. Aufgrund mangelnder Datenqualität und fehlenden Buchungsdaten können Materialflussbewegungen nicht präzise abgebildet werden. Daher werden Analysemethoden wie Interviews, Fragebögen, Beobachtungen und besondere EDV-Tools benötigt.⁶

In Materialflusssystemen werden automatische Identifikationsverfahren (Auto-ID) zur Bereitstellung von Informationen zu Personen, Gütern und Waren eingesetzt. Am häufigsten werden Barcode-Etiketten verwendet, obwohl diese in zunehmenden

¹ VDI 2689, 2010, S.2

² vgl. VDI 2689, 2010, S.4

³ Martin, 2016, S.29

⁴ vgl. VDI 2689, 2010, S.3

⁵ vgl. Martin, 2016, S.30

⁶ vgl. VDI 2689, 2010, S.11

Fällen aufgrund der Unmöglichkeit der Umprogrammierung sowie der notwendigen Sichtverbindung nicht mehr ausreichend sind.⁷ Eine weitaus leistungsfähigere Auto-ID Technologie stellt daher RFID (Radio-Frequency Identification) dar. Dieses System nutzt Radiowellen zum kontaktlosen Informationsaustausch zwischen Transponder und Lesegerät. Der Transponder wird am zu ortenden Objekt befestigt, das Lesegerät wird dort platziert, wo das Objekt identifiziert werden soll.⁸

Aufbauend auf dieses Funktionsprinzip entwickelte Fraunhofer Austria eine aktive, temporäre RFID-Trackinglösung für Flurförderzeuge. Dabei werden Gabelstapler mit RFID-Tags ausgestattet und an wichtigen Knotenpunkten von Lesegeräten geortet. Die dadurch generierten Daten werden verwendet, um u. a. Transportintensitäten, Verweildauern und Handlingzeiten der Stapler zu identifizieren und daraus Verbesserungspotentiale ableiten zu können.⁹

Zur Bereinigung, Aufbereitung und Auswertung der generierten Daten wurde eine „Microsoft Excel“ basierte Auswertungsmethode entwickelt, die folgende Optimierungspotentiale aufweist:

- **Reduktion des Zeitaufwandes:** Da bei der bestehenden Auswertungsmethode jeder RFID-Tag einzeln unter hohem Zeitaufwand ausgewertet werden muss, ist der Abbau von Software-Schnittstellen, die Reduktion des Zeitaufwandes bei der Bereinigung von Störgrößen und Messfehlern sowie bei der Aufbereitung und Auswertung der generierten Daten ein wesentlicher Optimierungspunkt.
- **Steigerung der Benutzerfreundlichkeit:** Die eingeschränkte Benutzerfreundlichkeit der Auswertungsmethode soll durch eine Vereinfachung der Datenauswertung und der Reduktion von potentiellen Anwendungsfehlern bei der Datenaufbereitung verbessert werden.
- **Erhöhung der Datenqualität und der Datenmenge:** Die fehlende Anpassung der Auswertungsmethode an unternehmensspezifische Störgrößen soll behoben werden, um eine Optimierung der Datenqualität zu erreichen. Zur Erhöhung der Datenmenge sollen Datenbanken anstelle von „Microsoft Excel“ verwendet werden.
- **Schaffung von Echtzeit-Analysen und Echtzeit-Visualisierungen:** Da es bisher nur möglich war, Daten nach dem Abbau der aktiven, temporären RFID-Trackinglösung auszuwerten, sollen Echtzeit-Analysen und Echtzeit-Visualisierungen geschaffen werden.¹⁰

⁷ vgl. Finkenzeller, 2015, S.1

⁸ vgl. Kern, 2007, S.13ff.

⁹ vgl. Lanner, 2017, S.46

¹⁰ vgl. Experteninterview Pascher, geführt am 01.08.2018

1.2 Forschungsfragen und Ziele der Arbeit

Aufgrund der Problemstellung lassen sich folgende Forschungsfragen ableiten:

- Welche Methoden zur Optimierung innerbetrieblicher Materialflüsse mittels RFID gibt es?
- Wie kann die Effizienz einer temporären, aktiven RFID-Trackinglösung durch die Entwicklung einer neuen, vereinfachten Datenauswertungsmethode verbessert werden?

Daraus ergeben sich folgende Ziele, die in dieser Diplomarbeit erforscht werden:

- State-of-the-Art Literaturrecherche zum Thema „Materialflussanalyse mittels RFID“
 - Vermittlung der benötigten theoretischen Grundlagen zu den Themen innerbetrieblicher Materialfluss, Materialflussanalyse und RFID
 - Darlegung verschiedener Anwendungen von RFID-Systemen durch die Materialflüsse analysiert, geplant bzw. gesteuert werden
- Programmierung eines Auswertungstools für RFID-generierte Daten zur Materialflussanalyse
 - Abbau von Daten-Schnittstellen und dadurch Vermeidung von Fehlern bzw. Zeitersparnis bei der Datenauswertung
 - Steigerung der Datenqualität durch optimierte Datenauswertung
 - Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit der Auswertungsmethode
 - Umsetzung von Echtzeit-Analysen und Echtzeit-Visualisierungen von Materialflüssen
 - Möglichkeit der Anbindung der ausgewerteten Daten in Standard-Materialflusssoftware wie z. B. „visTABLE@touch“
 - Anwendung der Auswertungsmethode in einem Praxisbeispiel

Um den Umfang dieser Diplomarbeit einzugrenzen, werden folgende Bereiche berücksichtigt:

- Innerbetriebliche Materialflüsse werden betrachtet
- Materialtransport erfolgt mittels Gabelstaplern
- Aufbauend auf die vorhandene Hard- und Software von Fraunhofer Austria wird die Auswertungsmethode erweiterbar aufgebaut (z. B. Integration von Auswertungsmethoden für anderen Auto-ID Technologien oder Sensoriken)

1.3 Lösungsansatz und Aufbau der Arbeit

Um die formulierten Forschungsfragen sowie die Ziele der Diplomarbeit beantworten zu können, wird die Forschungsmethodik der Deduktion angewendet, bei der vom allgemeinen Zustand auf das Spezielle geschlossen wird:

- Nach Erläuterung der theoretischen Grundlagen zu den Themen innerbetrieblicher Materialfluss, Materialflussanalyse und RFID in der Logistik werden im Rahmen einer State-of-the-Art Literaturrecherche zum Thema „Materialflussanalyse mittels RFID“ aktuelle Methoden und Anwendungen zur Optimierung von Materialflüssen in Kombination mit RFID-Systemen beleuchtet. Damit wird ermöglicht, dass die in weiterer Folge entwickelte Methode mit dem State-of-the-Art verglichen werden kann.
- Den Schwerpunkt dieser Diplomarbeit stellt die Entwicklung einer Auswertungsmethode für RFID-generierte Daten für Materialflussanalysen dar. Diese Methode ermöglicht trotz mangelnder Datenqualität oder fehlenden Buchungsdaten Auswertungen der Transportabläufe in Unternehmen durchzuführen, Verschwendungen zu identifizieren und Transparenz in der Intra-logistik zu schaffen sowie Verbesserungspotentiale abzuleiten.
- Nach der Implementierung des Auswertungstools wird im Rahmen einer Fallstudie in einem Unternehmen die entwickelte Methode angewendet. Dabei werden Verbesserungspotentialen untersucht. Außerdem sollen Herausforderungen des Unternehmens durch die neue Auswertungsmethode geklärt werden, um Verbesserungsmaßnahmen einleiten zu können.

Abbildung 1 zeigt den Aufbau der Arbeit graphisch aufbereitet.



Abbildung 1: Aufbau der Diplomarbeit ¹¹

¹¹ Eigene Darstellung

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden nach kurzen Einführungen in die Intralogistik sowie in den innerbetrieblichen Transport theoretische Grundlagen für die weitere Arbeit bezüglich des Materialflusses, der Materialflussanalyse, der RFID-Technologie und deren Einsatz in der Logistik gegeben.

2.1 Intralogistik und innerbetrieblicher Transport

Laut Arnold umfasst die innerbetriebliche Logistik, auch Intralogistik genannt,

*„... die Organisation, Steuerung, Durchführung und Optimierung des innerbetrieblichen Materialflusses, der Informationsströme sowie des Warenumschlags in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen.“*¹²

Als Teilgebiet der Unternehmenslogistik beschäftigt sich die Intralogistik mit den betriebsinternen Aufgaben der Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik.¹³ Ziel der Beschaffungslogistik ist, Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie Kaufteile und Handelsware bedarfsgerecht vom Lieferanten zu beziehen. Daher bildet die Beschaffungslogistik die Verbindung zur Distributionslogistik des Lieferanten.¹⁴ Die Steuerung, Planung und Überwachung des Materialflusses beginnend beim Wareneingang über den Produktionsprozess bis zum Warenausgang, ist Aufgabe der Produktionslogistik. Die Distributionslogistik verbindet den Materialfluss des Unternehmens mit dem Abnehmer und beinhaltet die dazugehörigen Planungs-, Steuerungs- und Überwachungsaufgaben.¹⁵

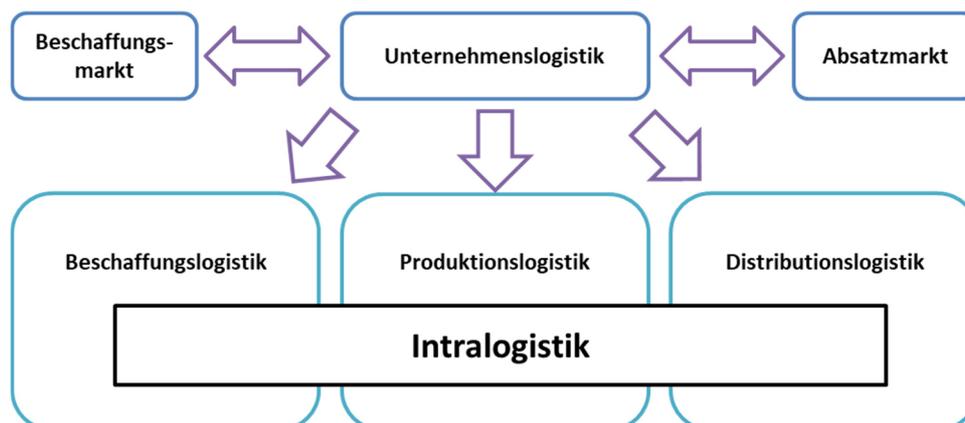


Abbildung 2: Einordnung der Intralogistik¹⁶

¹² Arnold, 2006, S.1

¹³ vgl. Martin, 2016, S.9

¹⁴ vgl. Pfohl, 2010, S.169

¹⁵ vgl. Pawellek, 2007, S.14

¹⁶ vgl. Friedrich, 2013, S.39

Die wichtigsten Materialflussfunktionen der Intralogistik sind das Umschlagen, das Transportieren, das Kommissionieren und das Verpacken, um Zeit-, Raum-, Mengen- und Sortimentsabweichungen zwischen Erzeugung und Verbrauch ausgleichen zu können.¹⁷ Mittels dieser Funktionen soll das Ziel der Intralogistik, das Bereitstellen des richtigen Werkstücks bzw. des richtigen Werkzeugs in der richtigen Menge und Qualität, in der richtigen Zeit, am richtigen Ort, zu minimalen Kosten, realisiert werden.¹⁸

Die Materialflussfunktion „Transportieren“ dient der Raumüberbrückung bzw. der Ortsänderung mittels Transportmitteln zwischen dem Transportursprung, der sogenannten Quelle und des Transportziels, auch Senke genannt. Der innerbetriebliche Transport findet innerhalb eines Produktionsstandorts zwischen Abteilungen oder Lagern statt.¹⁹ Transportvorgänge können horizontal, geneigt oder vertikal durchgeführt werden und beinhalten logistische Funktionen wie Stapeln, Umschlagen, Aufnehmen, Verteilen, Sortieren oder Kommissionieren. Da Transportvorgänge zu einer Verteuerung des Guts führen, sind Transporte möglichst effizient zu gestalten. Dazu sollten die Transportstrecken so kurz wie möglich gestaltet sein und zusätzlich Bearbeitungsprozesse wie dem Erwärmen, dem Kühlen oder dem Mischen während des Transports ausgeführt werden. Personen, mannbediente Techniken oder automatisierte Systeme führen Transporte aus.²⁰ In intralogistischen Systemen werden hauptsächlich Flurförderzeuge wie Gabelstapler, Gabelhubwagen, Schlepper oder Fahrerlose Transportsysteme für Transporte eingesetzt.²¹

2.2 Materialfluss

Bei der Produktion durchlaufen Güter unterschiedliche Stationen entlang der Wertschöpfungs- und Logistikkette, in denen sie gelagert, transportiert, bearbeitet oder gehandhabt werden.²²

Als Materialfluss bezeichnet man die räumliche, zeitliche und organisatorische Verkettung aller Vorgänge zur Gewinnung, Bearbeitung und Verteilung von Gütern innerhalb definierter Bereiche.²³ Dies können Abteilungen, Betriebe oder Werke sein.²⁴

¹⁷ vgl. Bichler et al., 2010, S.18

¹⁸ vgl. Martin, 2016, S.9

¹⁹ vgl. Pfohl, 2010, S.149f.

²⁰ vgl. Martin, 2016, S.99

²¹ vgl. Hompel et al., 2007, S.298

²² vgl. ebenda, S.289

²³ vgl. Martin, 2016, S.22

²⁴ vgl. Friedrich, 2013, S.40

Grundsätzlich besteht ein Materialflusssystem aus:

- Objekten (bewegen sich im Materialflusssystem)
- Verbindungsmitteln (bewegen Objekte im Materialflusssystem)
- Quellen (Eintrittsstelle in das System)
- Senken (Austrittsstelle aus dem System)
- Speichern (Aufenthaltsorte)
- Ressourcen (von Objekten für Eigenschaftsveränderung verwendet)²⁵

Die Aufgaben des Materialflusses sind die Beschaffung, die Produktion und die Distribution von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, Halb- und Fertigprodukten und Werkzeugen, um die Verknüpfung und Versorgung von Fertigungs- und Montageeinheiten zu gewährleisten. Materialflüsse entstehen durch Aneinanderreihung der Basisfunktionen Fertigen, Bewegen und Ruhen zur Erstellung des Endprodukts.

Die Steuerung von Materialflüssen kann mittels Bring- oder Holprinzip erfolgen. Transportarbeiter oder -mittel bringen beim Bringprinzip (Pushprinzip) das Material vom Beschaffungsort bedarfsgesteuert zur Produktionsstelle. Dagegen müssen Werker beim Holprinzip (Pullprinzip) benötigtes Material selbst verbrauchsgesteuert abholen.²⁶ Ziel der Steuerung ist ein getakteter, kostenoptimaler und kontinuierlicher Materialfluss ohne Kapazitätsengpässe, die negative Auswirkungen wie fehlende Transparenz, Komplexität oder unnötig hohe Kosten verursachen.²⁷

Vier Materialflussebenen können, wie in Abbildung 3 dargestellt, unterschieden werden. Dabei ist zwischen dem innerbetrieblichen Materialfluss, der die Ebenen 2 bis 4 beinhaltet, und dem externen Güterfluss zu unterscheiden.²⁸ Die erste Ebene, der externe Güterfluss, spiegelt die Verbindung des Unternehmens mit dem Beschaffungs- und Absatzmarkt wider. Als Schnittstellen fungieren hierbei der Warenein- bzw. der Warenausgang.²⁹

Die Unterteilung des innerbetrieblichen Materialflusses erfolgt in den betriebsinternen Bereich (Ebene 2), den gebäudeinternen Bereich (Ebene 3) und den Arbeitsplatzbereich (Ebene 4). Die Gestaltung des Bauleitplans eines Grundstücks inklusive der zweckmäßigen Zuordnung von Gebäuden und Lagerbereichen sowie der Festlegung von Verkehrswegen ist dem betriebsinternen Bereich zugeordnet. Der gebäudeinterne Bereich beheimatet die Abteilungszuordnung in Gebäuden, deren Verknüpfung untereinander sowie der Versorgung mit Material. Ebene 4 beinhaltet die Versorgung von Arbeitsplätzen mit Material sowie dessen

²⁵ vgl. Friedrich, 2013, S.82

²⁶ vgl. Martin, 2016, S.22f.

²⁷ vgl. Dickmann, 2015, S.105

²⁸ vgl. Bichler et al., 2008, S.120

²⁹ vgl. Arnold und Furmans, 2007, S.6

Handhabung.³⁰ Neben der materialflusstechnischen Optimierung sind ergonomische und physiologische Optimierungen von Arbeitsplätzen und -abläufen in dieser Ebene angesiedelt.³¹

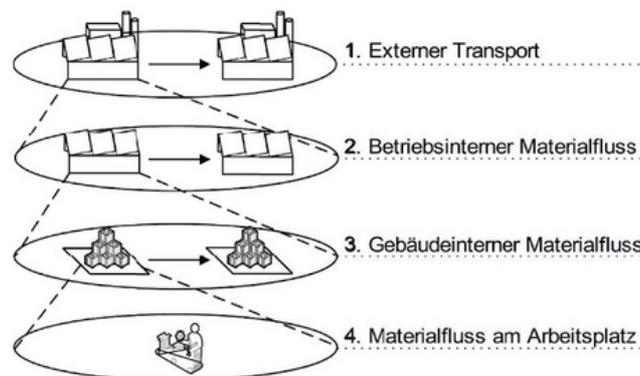


Abbildung 3: Materialflussebenen³²

2.2.1 Komponenten des Materialflusses

Innerbetriebliche Materialflüsse aller Materialbewegungen eines abgeschlossenen Bereichs können mittels der technischen und räumlichen, der quantitativen sowie der zeitlichen und organisatorischen Komponente beschrieben werden.

- **Technische und räumliche Komponente**

Anhand der verwendeten Transport-, Lager-, Kommissionier- und Umschlagsmittel wird die technische und räumliche Komponente des Materialflusses beschrieben. Die Ausprägung des Materialflusses ist von einigen gegebenen und unternehmensspezifischen Einflussfaktoren abhängig, die in der Praxis kombiniert auftreten. Je nach Unternehmen weisen diese Faktoren unterschiedlich großen Einfluss und daher auch unterschiedliche Auswirkungen auf den Materialfluss und dessen Kosten auf.

- **Quantitative Komponente**

Mittels der quantitativen Komponente wird der Materialfluss als Volumenstrom, Massenstrom oder Stückstrom dargestellt, wobei bei der Berechnung dieser Größen zwischen Stück- bzw. Schüttgut und Stetig- bzw. Unstetigförderer unterschieden werden muss.

- **Zeitliche und organisatorische Komponente**

Die zeitliche und organisatorische Komponente wird durch die Auftragsdurchlaufzeit gemessen, die sich aus der wertschöpfenden Auftragszeit (Bearbeitungs-, Rüst- und

³⁰ vgl. Friedrich, 2013, S.41

³¹ vgl. Martin, 2016, S.24

³² Friedrich, 2013, S.41

Verteilzeit) sowie der nicht wertschöpfenden Kontroll-, Warte-, Liege- und Transportzeiten zusammensetzt. In der Regel betragen die Warte- und Liegezeiten 85 Prozent der Auftragsdurchlaufzeit. Diesen Zeitanteil gilt es durch organisatorische Maßnahmen wie montagesynchrone Fertigung zu reduzieren. Die Auftragsdurchlaufzeit beinhaltet administrative Zeiten sowie Materialflusszeiten. Sie beginnt beim Auftragseingang und endet beim Eintreffen der Güter beim Kunden. Durch Umwandlung von nicht wertschöpfender in wertschöpfende Tätigkeiten sowie durch Abbau von Schnittstellen kann die Auftragsdurchlaufzeit reduziert werden. Dies führt u. a. zur Erhöhung der Produktivität, der Verringerung des Personalbedarfs für Transport- und Lageraufgaben, der Erhöhung der Maschinenausnutzung und der Verkürzung von Lieferzeiten.³³

2.2.2 Materialflusskosten

Der Materialfluss ist meist nicht wertschöpfend, da in der Regel Produkte durch den Transport oder die Lagerung keinen zusätzlichen Wert bekommen. Kunden sind daher nicht bereit, mehr für ein Produkt aufgrund der anfallenden Materialflusskosten zu zahlen.³⁴

Je nach Branche können innerbetriebliche Materialflusskosten über 50 Prozent der Selbstkosten einnehmen. Dieser Aspekt spiegelt die Bedeutung des Materialflusses wider, obwohl in der betrieblichen Kostenrechnung die Materialflusskosten nur unzureichend einbezogen werden. Materialflusskosten können in materialflussbedingte Personalkosten, in Betriebsmittelkosten für Transport- und Lagertechnik, in materialflussbedingte Raum- und Wegekosten und in materialflussbedingte Kapitalbindungskosten eingeteilt werden. Materialflusskosten werden durch verschiedene Einflussfaktoren auf den Materialfluss verursacht.

Nach Martin treten folgende Einflussfaktoren auf:

- Grundstück (Standort, Grundstückform)
- Gebäude (Gebäudeform, Stützenraster, Deckentragfähigkeit)
- Fertigung (Fertigungsprinzip, Produkt)
- Transport (Transportgut, -mittel, -weg)
- Lager (Lagergut, -art, -typ)
- Steuerung (zentral/dezentral, Automatisierungsgrad)
- Ablauforganisation (administrative und dispositive Vorgaben, Strategien)
- Zuordnung (Gebäude-, Abteilungs- und Arbeitsmittelzuordnung)

Anhand dieser Kostenarten können Kostenuntersuchungen durchgeführt werden, um mit hinreichender Genauigkeit, die im Betrieb angefallenen Materialflusskosten

³³ vgl. Martin, 2016, S.25ff.

³⁴ vgl. Dickmann, 2015, S.111

bestimmen zu können. Meist stimmen die berechneten Transportkosten mit den tatsächlichen Zahlen nicht überein, da Verlustzeiten durch mangelhafte Transportverhältnisse oder Zwischenlagerkosten nicht berücksichtigt werden können. Die Beurteilung des Materialflusses sowie dessen Kosten können erst erfolgen, wenn alle Ursachen ermittelt worden sind.³⁵

Trotz der Entwicklung neuer Kostenrechnungsmethoden bereitet die Ermittlung der Materialflussskosten in vielen Branchen große Schwierigkeiten. Oft wird die Höhe dieser unterschätzt, da nicht alle relevanten logistischen Prozesse betrachtet wurden.

Hohe Materialflussskosten entstehen durch steigende Energie-, Treibstoff- und Transportpreise sowie dem hohen Personalaufwand. Außerdem treiben die logistischen Trends der Globalisierung, der Umwelt- und Ressourcenschutz und zunehmende Sicherheitsanforderungen die Kosten in die Höhe.³⁶

2.3 Materialflussanalyse

Nach Bichler et al. müssen sich logistische Prozesse am physischen Materialfluss sowie an wertschöpfenden Tätigkeiten orientieren. Daher gilt es, den Materialfluss zu optimieren.³⁷ In den letzten Jahren tätigten Industrieunternehmen aller Branchen hohe Investitionen in den Materialfluss von Transport-, Lager- und Informationssystemen. Diesen Investitionen sind Erhebungen wie Materialflussanalysen vorgelagert, die die technische, wirtschaftliche und organisatorische Grundlage liefern.³⁸

„Unter den Begriffen Materialflussuntersuchung, Materialflussanalyse, Materialfluss-Ablaufanalyse oder Materialfluss-IST-Aufnahme auch Schwachstellenanalyse ist die Erfassung des Transportvorgangs und -ablaufs sowie alle gewollten und ungewollten Lagerungen aller Materialien des innerbetrieblichen Bereichs des Unternehmens zu verstehen.“³⁹

„Material flow analysis is a systematic assessment of the flows and stocks of materials within a system defined in space and time. It connects the sources, the pathways, and the in-intermediate and final sinks of material.“⁴⁰

Anhand von Materialflussanalysen wird aufgrund von Mengengerüsten das Materialflusssaufkommen in einem Unternehmen aufgezeigt.⁴¹ Im Rahmen der

³⁵ vgl. Martin, 2016, S.27ff.

³⁶ vgl. Pfohl, 2010, S.49ff.

³⁷ vgl. Bichler et al., 2010, S.17

³⁸ vgl. Martin, 2016, S.461

³⁹ ebenda, S.29

⁴⁰ Brunner und Rechberger, 2004, S.3

⁴¹ vgl. Klug, 2000, S.53

Analyse werden Planungsdaten ermittelt, ausgewertet und dargestellt. ⁴² Abbildung 4 zeigt die Vorgehensweise bei der Durchführung einer Materialflussanalyse sowie die Einbettung dieser in Optimierungsprojekte.

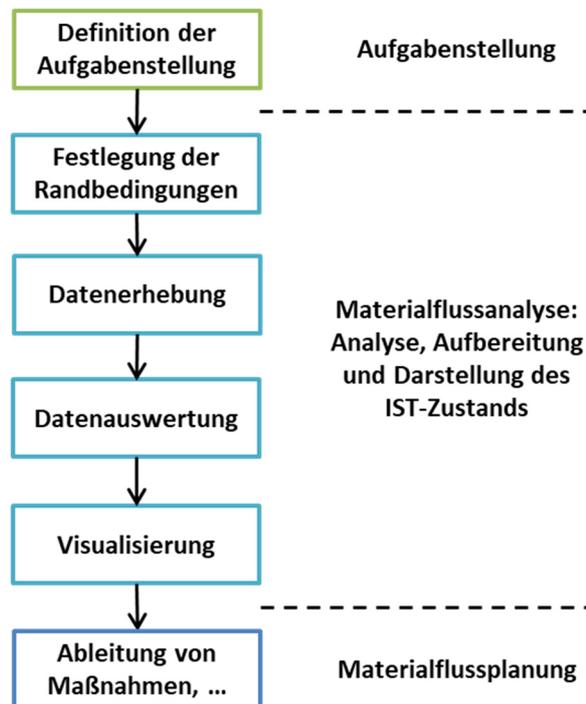


Abbildung 4: Vorgehensweise bei einer Materialflussanalyse ⁴³

Anhand dieser Vorgehensweise wird versucht, Transparenz zu schaffen und Informationen über die Materialflussstruktur, über Schwachstellen sowie über Materialflusskosten zu erhalten. ⁴⁴ Ziel jeder Materialflussanalyse ist daher das Auffinden dieser Schwachstellen und deren Ursachen sowie das Ermitteln der Materialflusskosten, um anschließend mittels Planung einen optimierten Materialfluss mit minimalen Kosten zu erhalten. ⁴⁵

Dickmann formuliert folgende Ziele von Materialflussanalysen:

- Harmonisierung von Losgrößen und Verpackungen mit dem Kundentakt
- Schaffung von Raum für Sicherheitsbestände, saisonale Schwankungen oder Schwankungen aufgrund von Wachstum
- Vermeidung von unnötigen Lagervolumen und Handling
- Vermeidung von Zwischentransporten und Zwischenlagern
- Realisierung kurzer Transportwege
- Automatisierung von Lagern und Transporten ⁴⁶

⁴² vgl. Martin, 2016, S.476

⁴³ vgl. Lutz und Galenza, 2004, S.131

⁴⁴ vgl. Werner, 2013, S.57

⁴⁵ vgl. Martin, 2016, S.30

⁴⁶ vgl. Dickmann, 2015, S.112

Gründe für die Durchführung von Materialflussanalysen, um die oben genannten Ziele erreichen zu können, sind:

- geplante Automatisierung des Transport- und Lagerbereichs
- geringe Auslastung von Transportmitteln
- hohe Transport- und Lagerkosten
- veraltete Lager- und Transporttechnik
- geplante Erweiterung des Produktionsspektrums
- Engpässe und Kapazitätsprobleme
- Unfälle
- Störungen im Materialfluss
- hohe Personalkosten ⁴⁷
- lange Auftragsdurchlaufzeiten
- geplante Neubauten, Erweiterungen oder Umbauten
- geplante sonstige Investitionen ⁴⁸

Außerdem können Materialflussanalysen Verbesserungen aufzeigen, die keine zusätzlichen Investitionen benötigen. Dies können bspw. die Reduktion des Transportaufwands oder die Einsparung von Energie und Treibstoff sein. ⁴⁹

Materialflussanalysen weisen gegenüber anderen Analysen folgende Vorteile auf:

- Operatives Instrument mit strategischen Informationen
- Schaffung von Prozessverständnis
- Schaffung von Kostentransparenz
- Steigerung der Flexibilität

Nachteile dieser Methode sind:

- kein Modellcharakter
- hoher Informationsgehalt
- fehlende Nachhaltigkeit
- Vergangenheitsbezug ⁵⁰

In weiterer Folge werden die Schritte der Materialflussanalyse aus Abbildung 4 näher erläutert: Festlegung der Randbedingungen, Datenerhebung, Datenauswertung und Visualisierung.

⁴⁷ vgl. Martin, 2016, S.30

⁴⁸ vgl. VDI 2689, 2010, S.3

⁴⁹ vgl. Lehmann, 1980, S.1

⁵⁰ vgl. Werner, 2013, S.62ff.

2.3.1 Festlegung der Randbedingungen

Zur Vermeidung von Interpretationsspielräumen und der Reduktion des Untersuchungsaufwands ist das zu erfassende System räumlich und zeitlich einzugrenzen. Durch räumliche Systemgrenzen wird die geografische Lokalisierung des Systems erleichtert. Zeitliche Grenzen dienen der Repräsentativität, so eignen sich Perioden mit großen saisonalen Schwankungen nicht als Betrachtungszeitraum. Außerdem müssen Systemelemente wie Infrastrukturen, Material- und Informationsflussmittel definiert werden.⁵¹ Die Entstehungsgründe von gewachsenen Strukturen müssen ebenfalls untersucht werden, damit falsche Denkansätze zukünftig vermieden und innovative Lösungsansätze entwickelt werden können.⁵²

Es können sowohl Kurzzeit- als auch Daueraufnahmen zur Erhebung der Daten durchgeführt werden. Um Vorgabezeiten bestimmen zu können, werden Langzeitaufnahmen herangezogen. Bei der Ermittlung von Kapazitätskennzahlen sowie Schwachstellen- und Engpassanalysen verwendet man Kurzeitaufnahmen.⁵³

In diesem Schritt erfolgt außerdem die Verteilung von Aufgaben. Externe Planer müssen sich einen vollständigen Überblick über das Unternehmen verschaffen, da sonst nur wenig zielgerichteter Input gegeben werden kann. Die Aufgabe von internen Planern ist die detaillierte Darstellung von Prozessen sowie die kritische Hinterfragung der vorherrschenden Tatsachen.⁵⁴

2.3.2 Datenerhebung

Mittels Beobachtungen vor Ort werden Erhebungen über Abläufe im Materialfluss bezüglich des Personals, des Materials, der Fläche, der Transport- und Lagertechnik durchgeführt. Die Materialflussanalyse liefert dabei Basisdaten, um die gesteckten Ziele realisieren zu können.⁵⁵ Die Herausforderung ist die Beschaffung bzw. Erfassung von Informationen und Daten, mit denen die Beurteilung des Materialflusses möglich ist.⁵⁶

Nach Hompel et al. müssen folgende Daten ermittelt werden:

- Eigenschaften des Förderguts (Materialstammdaten)
 - z. B. Abmessungen, Gewichte, Transportmengen, Ladungsträger, besondere chemische oder physikalische Eigenschaften
- Daten der vorhandenen Förder- und Lagermittel
 - z. B. Kapazität, Taktzeiten, Durchsatz, Flächenbedarf, Personalbedarf

⁵¹ vgl. Werner, 2013, S.57f.

⁵² vgl. VDI 2689, 2010, S.11

⁵³ vgl. Martin, 2016, S.467

⁵⁴ vgl. Lutz und Galenza, 2004, S.132

⁵⁵ vgl. Martin, 2016, S.30

⁵⁶ vgl. VDI 2689, 2010, S.11

- Produktionstechnische Daten bzw. Fertigungsverfahren
 - z. B. Stückzahlen, Losgrößen, Produkte, Fertigungstyp
- Bauliche Gegebenheiten
 - z. B. Gebäudeform, Grundstück, Flächennutzungsgrad, Engpassstellen
- Personaldaten
 - z. B. Anzahl des mit Transport beschäftigten Personals, Automatisierungsgrad
- Daten des externen Warentransports
 - z. B. Lieferanten- und Kundenbeziehungen
- Leistungen und Kosten
 - z. B. Personalkosten, Materialflusskosten ⁵⁷

Die benötigten Daten über sich bewegende und ruhende Materialien können mittels Primär- (direkt vor Ort im laufenden Betrieb) oder Sekundärerhebung (indirekt durch statistische Analysen) erfolgen. Direkte Materialflusserfassungen werden verwendet, wenn erforderliche Daten nicht oder nur in schlechter Qualität vorhanden sind. Daher ist diese Erhebungsform auch zeitintensiver als die Sekundärerhebung. Gängigste Methoden sind hierbei die Ablauf-, die Belastungs- und die Kostenstudie.

Mittels Ablaufstudien wird ein Modell der Material- und Informationsflussvorgänge erstellt. Bei der Primärerhebung werden Materialflüsse durch einfache Skizzen aufgenommen, die das Aufzeigen von Abhängigkeiten ermöglichen. Die Sekundärerhebung erfolgt anhand der Analyse von bestehenden Betriebsdaten. Die dadurch erhaltenen Ergebnisse bilden die Grundlage für Belastungs- und Kostenstudien. ⁵⁸

Darauf aufbauend erfolgt die Belastungsstudie, die Mengen, Zeiten, die Richtung und Distanzen der Materialflüsse sowie Interaktionen innerhalb der Materialflüsse aufzeigt. Dadurch können Transportintensitäten sowie Auslastungsgrade von Transport- und Lagermittel ermittelt werden. ⁵⁹

Anhand von Kostenstudien werden die Kostenarten Betriebsmittelkosten, Raumkosten, Kapitalbindungskosten und Personalkosten aufgenommen und anschließend bewertet. Dadurch wird ermöglicht, spezifische Kosteneinsparungspotentiale zu identifizieren. Oft können Einsparungen im Organisations- und Datenverarbeitungsbereich ermittelt werden. ⁶⁰

Indirekte Materialflusserfassungen werden anhand von bestehenden Materialflussdaten durchgeführt, die mittels moderner Informationssysteme wie ERP

⁵⁷ vgl. Hompel et al., 2007, S.338f.

⁵⁸ vgl. Arnold und Furmans, 2007, S.237ff.

⁵⁹ vgl. Werner, 2013, S.59

⁶⁰ vgl. Arnold und Furmans, 2007, S.250f.

(Enterprise Resource Planning) verwaltet werden.⁶¹ Nach Arnold und Furmans werden unternehmensinterne Unterlagen wie Organisationspläne, Lage- und Bebauungspläne, Produktionsprogramme, Stücklisten, Kapazitätspläne und Lohnbelege zur indirekten Datenerhebung sowie externe Daten wie Geschäftsberichte, Marktforschungen und Nachschlagewerke herangezogen.⁶² Diese Daten werden für statistische Analysen verwendet. Sollten keine Stammdaten vorhanden sein, können indirekte Analysen nicht durchgeführt werden.⁶³

Meistens werden aufgrund von Zeitersparnis beide Methoden in Kombination unter der Berücksichtigung folgender fünf W-Fragen angewendet:

- Warum wird gelagert bzw. transportiert?
- Wie viel und was wird gelagert bzw. transportiert?
- Woher und wohin wird transportiert?
- Wie und womit wird gelagert bzw. transportiert?
- Wie lange und wann wird gelagert bzw. transportiert?

Die erhobenen Daten werden vor der Auswertung auf Plausibilität, Vollständigkeit, Redundanz und Konsistenz kontrolliert.⁶⁴

2.3.3 Datenauswertung

Ziel der Auswertung der Materialflussaufnahmen ist das Ordnen, Zusammenfassen und Klassifizieren nach bestimmten Gesichtspunkten wie Umsatz, Gewinn oder Transportkosten der aufgenommenen Datenmenge. Dazu soll nach Möglichkeit auf EDV-Tools zurückgegriffen werden.⁶⁵

Eine Möglichkeit der Klassifizierung von Materialien spiegelt die ABC-Analyse wider, da sich Materialien in deren Gewichtung unterscheiden. Mittels der ABC-Analyse können Materialien identifiziert werden, die nachhaltigen Einfluss auf Kosten und Umsatz ausüben.⁶⁶ Dazu werden Materialien nach Umsatz und Anzahl in die Kategorien A (80% des Umsatzes von 20% der Artikel), B (15% des Umsatzes von 20% der Artikel) und C (5% des Umsatzes von 60% der Artikel) gegliedert. Anhand dieser Analyse können Rückschlüsse bezüglich der Umschlagshäufigkeit gewonnen und darauf aufbauend die zu verwendenden Lagersysteme sowie der optimale Mechanisierungsgrad bestimmt werden.⁶⁷

⁶¹ vgl. Werner, 2013, S.59

⁶² vgl. Arnold und Furmans, 2007, S.238

⁶³ vgl. Martin, 2016, S.467

⁶⁴ vgl. Arnold und Furmans, 2007, S.239

⁶⁵ vgl. Martin, 2016, S.34

⁶⁶ vgl. Werner, 2013, S.58

⁶⁷ vgl. Martin, 2016, S.34f.

Da häufig ABC-Analysen zur Klassifizierung nicht ausreichen, werden meistens auch XYZ-Analysen angewendet. Ziel der XYZ-Analysen ist, die Vorhersagegenauigkeit des Verbrauchs von Artikeln zu bestimmen. Dadurch können Risikopotentiale sowie Empfehlungen zur Beseitigung des Risikos gegeben werden. Dazu werden Artikel in die Klassen X (hohe Vorhersagegenauigkeit, geringe Verbrauchsschwankungen), Y (mittlere Vorhersagegenauigkeit, trendmäßig steigender oder fallender Verbrauch) und Z (geringe Vorhersagegenauigkeit, unregelmäßiger Verbrauch) eingeteilt. Kombiniert man die ABC- mit der XYZ-Analyse erhält man eine Matrix mit neuen Artikelklassen, wodurch erhebliche Rationalisierungspotentiale aufgezeigt werden können.⁶⁸

		Zugriffshäufigkeit		
		A	B	C
Vorhersagegenauigkeit	X	hohe Zugriffshäufigkeit hohe Vorhersagegenauigkeit	mittlere Zugriffshäufigkeit hohe Vorhersagegenauigkeit	niedrige Zugriffshäufigkeit hohe Vorhersagegenauigkeit
	Y	hohe Zugriffshäufigkeit mittlere Vorhersagegenauigkeit	mittlere Zugriffshäufigkeit mittlere Vorhersagegenauigkeit	niedrige Zugriffshäufigkeit mittlere Vorhersagegenauigkeit
	Z	hohe Zugriffshäufigkeit niedrige Vorhersagegenauigkeit	mittlere Zugriffshäufigkeit niedrige Vorhersagegenauigkeit	niedrige Zugriffshäufigkeit niedrige Vorhersagegenauigkeit

Abbildung 5: Kombination der ABC- mit der XYZ-Analyse⁶⁹

Weiters können durch die Erhebungen der zurückgelegten Distanzen, Intensitäten, Transportrelationen und der Verkehrsbelastungen Kennzahlen berechnet und Bewertungskriterien definiert werden. Diese zeigen die Leistungsfähigkeit des Systems. Zu betrachtende Kennzahlen sind:

- Handarbeit zu Maschinenarbeit
- Durchlaufleistungsgrad
- Lagerkosten zu Lagernutzfläche
- Anzahl Lagereingänge pro Zeit
- Flächen-, Raum- und Höhennutzungsgrad
- Personalkosten im Materialfluss zu den Belegschaftskosten
- Arbeitskräfte zur Gesamtbelegschaft

⁶⁸ vgl. Hompel et al., 2007, S.342f.

⁶⁹ vgl. ebenda, S.343

Bewertungskriterien bezüglich technischer und wirtschaftlicher Merkmale der Materialflussanalyse sind:

- Zuordnung von Gebäuden zu Abteilungen und deren Flexibilität
- Bauliche Maßnahmen
- Durchlaufzeit von Materialien
- Kosten und Übersichtlichkeit der Transporte
- Automatisierungsgrad ⁷⁰

2.3.4 Visualisierung

Aufgrund des hohen Datenvolumens von Materialflussanalysen eignen sich graphische Darstellungen besonders, um Daten hervorzuheben und Verhältnisse zu verdeutlichen. Dadurch wird dem Empfänger schnelles Aufnehmen und Beurteilen der wesentlichen Punkte ermöglicht. ⁷¹ Ziel von Visualisierungen ist, die sichtbare positive und negative Kritik des aufgenommenen Zustands des Unternehmens darzustellen. ⁷²

Für die Visualisierung von Materialflüssen eignen sich sowohl qualitative als auch quantitative Methoden. Bei der qualitativen Visualisierung wird das System in Quellen und Senken sowie Kanten geteilt. Quellen und Senken entsprechen den Leistungssektoren wie z. B. den Wareneingang, das Rohstofflager, die Produktion, das Fertigwarenlager oder den Warenausgang. Kanten stellen die Transportbewegungen der Materialflüsse dar. Durch die Erweiterung der qualitativen mit der quantitativen Visualisierung können zeitliche und mengenmäßige Materialflüsse in Form von Transportintensitäten zwischen Quellen und Senken aufgezeichnet werden.

Die Materialflussmatrix oder Von-Nach-Matrix ist eine qualitative und quantitative Visualisierungsform, in der Materialflüsse zwischen Quellen („Von“) und Senken („Nach“) aufgetragen werden. Dazu werden in Tabellenform Quellen senkrecht und Senken waagrecht angeschrieben und die dazugehörigen Transportbewegungen vor- (über der Diagonale) und rückwärtsläufig (unter der Diagonale) eingetragen. Die Transportbewegungen können als Transportanzahl, zurückgelegte Distanzen oder Transportaufwände geführt werden. Abbildung 6 zeigt bspw. die Anzahl an Transporten pro Monat eines metallverarbeitenden Unternehmens. Diese Visualisierungsform teilt den Prozessgedanken, das bedeutet, dass der Output eines Prozesses als Input für den folgenden Prozess angesehen wird. Vor allem

⁷⁰ vgl. Martin, 2016, S.37

⁷¹ vgl. Corbat, 2009, S.146

⁷² vgl. Martin, 2016, S.35

rückwärtsläufige Materialflüsse zeigen Ineffizienzen im Materialfluss auf und müssen daher detailliert betrachtet werden.⁷³

	Wareneingang	Zuschnitt Aluminium	Schweißen / Fräsen	Standardbau	Eckenbau	Roboter	Bearbeitungszentrum	Sonderbau	Zuschnitt Stahl	Stahlbau	Qualitätssicherung	Fertigwarenlager
Wareneingang		33774	0	0	0	0	0	0	1430	0	0	0
Zuschnitt Aluminium	0		11227	880	8250	360	0	36	0	80	0	0
Schweißen / Fräsen	0	0		4382	4980	1195	0	598	0	872	0	0
Standardbau	0	0	0		0	0	0	0	0	0	13235	0
Eckenbau	0	0	0	0		0	0	0	0	0	13230	0
Roboter	0	0	0	0	0		0	0	0	0	5731	0
Bearbeitungszentrum	0	0	0	0	0	0		0	0	1582	0	0
Sonderbau	0	0	0	0	0	0	0		0	0	1426	0
Zuschnitt Stahl	0	0	800	0	0	0	0	0		630	0	0
Stahlbau	0	0	0	0	0	0	1582	0	0		1582	0
Qualitätssicherung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		35204
Fertigwarenlager	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Abbildung 6: Materialflussmatrix eines metallverarbeitenden Unternehmens⁷⁴

Die erstellten Materialflussmatrizen dienen als Grundlage für das Erstellen von graphischen Darstellungen.⁷⁵ Im Rahmen dieser Arbeit werden die am häufigsten verwendeten Darstellungsformen, das Kreisverfahren und das Sankey-Diagramm, erläutert. Weitere Visualisierungsmethoden von Materialflüssen können in Arnold und Furmans nachgelesen werden.⁷⁶

Eine Möglichkeit der Darstellung von IST-Daten ist das Kreisverfahren. Hierbei handelt es sich um eine qualitative Visualisierung. Hierzu werden Abteilungen als Kreise dargestellt und in einem Kreis mit gleichem Abstand angeordnet. Zwischen Abteilungen werden Transportbewegungen mittels gewichteten Verbindungslinien visualisiert. Somit kann gezeigt werden, welche Abteilungen starke Beziehungen zueinander haben. Anschließend werden die Abteilungen geordnet, indem Abteilungen mit hoher Abhängigkeit nebeneinander liegen. Dadurch kann ein erster Grobplan des SOLL-Layouts erstellt werden.⁷⁷

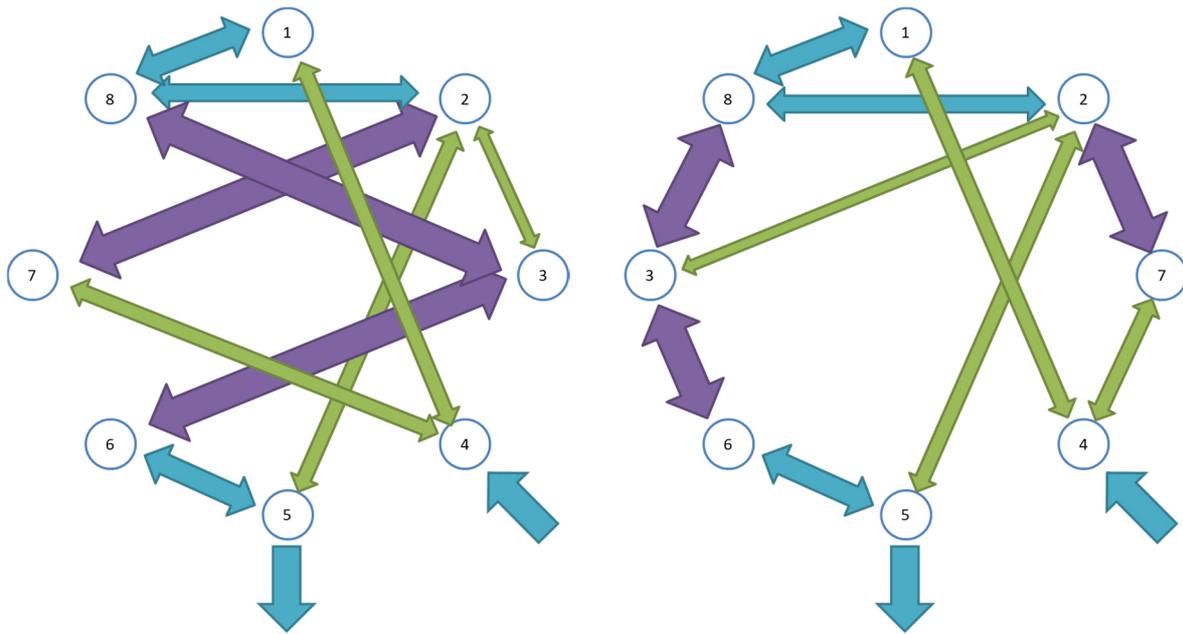
⁷³ vgl. Werner, 2013, S.60f.

⁷⁴ vgl. Lutz und Galenza, 2004, S.136

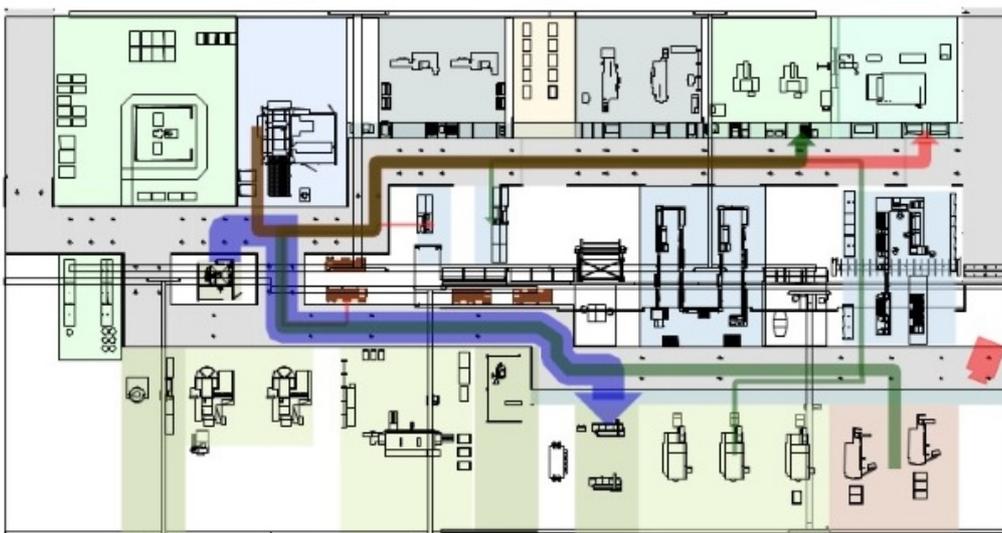
⁷⁵ vgl. Klug, 2000, S.54

⁷⁶ vgl. Arnold und Furmans, 2007, S.251ff.

⁷⁷ vgl. Martin, 2016, S.477

Abbildung 7: Kreisverfahren ⁷⁸

Mittels Sankey-Diagramm können Materialflüsse maßstabsgetreu oder mengenbezogen visualisiert werden. Maßstabsgetreue Varianten eignen sich besonders, um Transparenz von innerbetrieblichen Materialflüssen zu schaffen, indem die Stärke der Transportpfeile mit der Durchsatzmenge proportional gesetzt wird. Mengenbezogene Darstellungen können für die Visualisierung ganzer Supply Chains herangezogen werden. ⁷⁹ Ein wesentliches Merkmal von Sankey-Diagrammen ist die übersichtliche Darstellung von Rückkoppelungen im System. ⁸⁰

Abbildung 8: Sankey-Diagramm mit hinterlegtem Fabriklayout ⁸¹

⁷⁸ vgl. Martin, 2016, S.478

⁷⁹ vgl. Werner, 2013, S.61f.

⁸⁰ vgl. Hompel et al., 2007, S.343

⁸¹ <https://www.vistable.de/materialflussanalyse-software/> (gelesen am 20.07.2018)

Durch die graphische Aufbereitung der Daten können Schwachstellen im Materialfluss wie Engpässe, Gegenverkehr oder Knotenpunkte einfacher erkannt und beurteilt werden.⁸²

Außerdem dienen diese Visualisierungen als Grundlage für die Ableitung von Gegenmaßnahmen sowie der Planung der SOLL-Daten.⁸³ Ergebnisse der Materialflussanalysen können direkt in die Planung optimaler Materialflüsse übernommen werden. Aufgrund des hohen Genauigkeits- und Detaillierungsgrades dieser Daten können präzise Planungsergebnisse erzielt werden.⁸⁴

2.4 Einsatz von RFID in der Logistik

Logistik-Informationssysteme sind vor allem in Bezug auf den Materialfluss von großer Bedeutung. Diese Systeme dienen der Planung, Steuerung und Überwachung von logistischen Prozessen wie dem Materialfluss und werden u. a. zur Bestimmung von Durchlaufzeiten oder der Bestandsüberwachung eingesetzt.⁸⁵ Nach Wittenbrink führen moderne Informations- und Kommunikationstechnologien auch zur Erhöhung der Transparenz im gesamten Logistikbereich sowie zur Steigerung der Auslastung von Transportmittel, der Verbesserung der Routenplanung und zur Flexibilisierung von Lagerflächen.⁸⁶

Dabei spielt die automatische Datenerfassung von Material- und Informationsflüssen mittels Auto-ID Technologien eine wesentliche Rolle. Die Gruppe der Auto-ID Technologien umfasst verschiedene Technologien zur automatischen Datenerfassung und beinhaltet die optische Zeichenerkennung (OCR), Barcodes, die biometrische Identifikation und Radio Frequency Identification (RFID).⁸⁷ Auto-ID Technologien werden bereits in diversen industriellen Bereichen eingesetzt und liefern bemerkenswerte Ergebnisse.

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) setzen solche modernen Technologien oft nicht ein, da meist grundlegende Probleme im Betrieb auftreten. In der Regel erfolgen nur Fertigmeldungen von Wertschöpfungsschritten in Fertigung oder Montage, ohne Qualitätsbewertungen oder Informationen zu folgenden Wertschöpfungsschritten. Durch die nicht durchgängige Objektidentifikation sind Prozesse nicht transparent und nur schwer oder gar nicht nachvollziehbar. Weiters sind in vielen KMU keine eindeutigen Artikelstammdaten vorhanden. Dadurch ist keine eindeutige Artikelrückverfolgung möglich. Geplante Prozessoptimierungen scheitern oft aufgrund dieser fehlenden Produktionsinformationen.

⁸² vgl. Martin, 2016, S.37

⁸³ vgl. Friedrich, 2013, S.84

⁸⁴ vgl. Dickmann, 2015, S.229

⁸⁵ vgl. Jünemann und Beyer, 1998, S.38ff.

⁸⁶ vgl. Wittenbrink, 2014, S.26

⁸⁷ vgl. Wannewetsch, 2014, S.214

Lösungsmöglichkeiten, um diese Herausforderungen zu beseitigen und Produktionsprozesse zu vernetzen, bieten automatische Identifikationssysteme wie RFID.⁸⁸

2.4.1 RFID

RFID ist eine Transpondertechnologie, die in der Logistik immer wichtiger wird. Nach bereits erfolgtem Einsatz von RFID bei der Behälteridentifikation, bei Zutrittskontrollsystemen oder bei Wegfahrsperrern von Fahrzeugen werden auch in der Beschaffungs-, der Produktions- und der Distributionslogistik diverse Einsatzmöglichkeiten zur Effizienzsteigerung der Intralogistik gesehen. Diese Effizienzsteigerungen betreffen die Reduktion von Lagerbeständen, die Optimierung von Just-in-Time Prozessen und die Überwachung von Gütern und Waren während des Transports. Vor allem in Industrien mit hohen Sicherheitsanforderungen wie der Pharma-, der Chemie- und der Automobilindustrie zeigt RFID großes Potential.⁸⁹

RFID-Systeme bestehen aus Transpondern, Readern und einem Computer:

- Transponder werden direkt am zu beobachtenden Objekt angebracht. Sie bestehen aus einer Antenne und einem Speicherchip.
- Lese- und/oder Schreibgeräte, auch Reader genannt, lesen bzw. schreiben mittels eingebauten oder aufgesetzten Antennen Informationen des Transponders.⁹⁰
- Ein Computer verwaltet die generierten Daten des RFID-Systems.⁹¹

2.4.2 Transponder

Informationen werden in RFID-Systemen mittels Funksignalen übermittelt. Dabei fungieren sogenannte Transponder als Speicher und Antennen.⁹²

Der Name Transponder leitet sich von Transmitter (Sender) und Responder (Antwortende) ab und beschreibt somit die Aufgaben der Transponder, da sie sowohl für das Senden von Informationen als auch für das Antworten verantwortlich sind. Grundsätzlich unterscheidet man aktive und passive, sowie einmalig und mehrmalig beschreibbare Transponder.

Befinden sich passive Transponder im elektromagnetischen Feld des Lesegeräts, entnehmen sie mittels der eingebauten Antenne Energie, mit der sie die gespeicherten Daten am Chip des Transponders zurücksenden. Werden große

⁸⁸ vgl. Hippenmeyer, 2016, S.1ff.

⁸⁹ vgl. Wannewetsch, 2014, S.290

⁹⁰ vgl. Weinländer, 2017, S.11

⁹¹ vgl. Bichler et al., 2010, S.203

⁹² vgl. Wannewetsch, 2014, S.214

Datenmengen versendet, greift man auf aktive Transponder mit eigener Energieversorgung zurück, da das Energiefeld des Lesegeräts zu schwach ist, um diese Informationen versenden zu können. Die Energieversorgung erfolgt hierbei anhand einer Batterie. Wird diese Batterie nur für die Speichererhaltung verwendet, handelt es sich um semiaktive Transponder. Wird die Energie der Batterie auch für das Senden und Empfangen von Informationen verwendet, handelt es sich um aktive Transponder.⁹³ Für das Senden von Informationen ist dabei kein elektromagnetisches Feld des Lesegeräts erforderlich. Dadurch können größere Reichweiten von aktiven RFID-Systemen erreicht werden.⁹⁴

Die größten Nachteile der aktiven Transponder sind die höheren Stückpreise, die größeren Transpondermaße und das Wartungsintervall, in dem die Batterie gewechselt werden muss. Aufgrund der Nachteile der aktiven Transponder werden meistens passive eingesetzt,⁹⁵ obwohl diese schlechtere Datenübertragungsraten und geringe Übertragungsdistanzen ermöglichen.⁹⁶

Gegenüber Barcodes und anderen Auto-ID Technologien verfügen Transponder über mehr Speicherplatz und sind, abhängig von der Bauart, auch wiederbeschreibbar.⁹⁷ Außerdem muss zwischen Transponder und Lesegerät keine Berührung oder Sichtkontakt bestehen. Dadurch wird die sogenannte Pulkerfassung ermöglicht, bei der gleichzeitig mehrere Transponder gelesen werden.⁹⁸ Aufgrund des modularen Aufbaus und der dadurch erleichterten Inbetriebnahme ergeben sich weitere Vorteile gegenüber anderen Auto-ID Technologien wie erhöhte Flexibilität bezüglich Änderungen oder Erweiterungen, eine höhere Robustheit sowie die Verfügbarkeit von Echtzeitdaten.⁹⁹

2.4.3 Datenübertragung

Die Datenübertragung zwischen Transponder und Lesegerät kann kapazitiv, induktiv oder mittels Backscatter-Verfahren erfolgen.¹⁰⁰

- **Kapazitive Kopplung** erfolgt mittels des Plattenkondensatorprinzips. Durch parallele Anordnung von Transponder und Lesegerät wird die Datenübertragung zwischen den zwei voneinander isolierten, elektrischen Leitern durchgeführt. Diese Übertragungsart spielt nur eine untergeordnete Rolle, da dadurch nur sehr wenig Energie übertragen werden kann.

⁹³ vgl. Bichler et al., 2010, S.203f.

⁹⁴ vgl. Günthner und Hompel, 2010, S.114

⁹⁵ vgl. Bichler et al., 2010, S.204

⁹⁶ vgl. Günthner und Hompel, 2010, S.114

⁹⁷ vgl. Wannewetsch, 2014, S.214

⁹⁸ vgl. ebenda, S.290

⁹⁹ vgl. Günthner und Hompel, 2010, S.229

¹⁰⁰ vgl. Kern, 2007, S.47ff.

- Die **induktive Kopplung** wird vor allem von passiven Transpondern angewendet. Das magnetische Feld des Lesegeräts wird von der Antennenspule des Transponders aufgenommen. Diese Spule erzeugt dadurch eine Spannung, die zur Energieversorgung des Transponders dient. Parallel zur Spule ist ein Kondensator geschaltet. Dadurch entsteht ein Schwingkreis, dessen Resonanzfrequenz gleich der Sendefrequenz des Lesegeräts ist. Befindet sich ein resonanter Transponder im Feld des Lesegeräts, wird dem magnetischen Feld Energie entzogen. Diese Rückwirkungen nimmt die Antenne des Readers auf. Durch Gleichrichtung dieser Signale können die gesendeten Daten der Transponder am Reader rückgewonnen werden.
- Das **Backscatter-Verfahren** wird in Systemen mit großen Empfangsreichweiten eingesetzt. Basierend auf den Prinzipien der Radartechnik werden hierzu Dipolantennen am Transponder und am Lesegerät eingesetzt, wobei im Transponder ein Lastwiderstand parallel zur Dipolantenne geschaltet ist. Besteht Resonanz zwischen den beiden Dipolantennen, kann die Antenne des Lesegeräts das Ein- und Ausschalten des Lastwiderstands erkennen. Anhand dieses Signals erfolgt die Datenübertragung.¹⁰¹

2.4.4 Betriebsarten

Grundsätzlich können zwei Betriebsarten von RFID-Anwendungen unterschieden werden. Dies sind das sequenzielle Verfahren (SEQ) sowie das Duplexverfahren, das wiederum in Vollduplex (FDX) und Halbduplex (HDX) unterteilt wird.¹⁰²

- Bei **sequenziellen Verfahren** erfolgt die Daten- und Energieübertragung zeitversetzt. Da die Energieübertragung zwischen Lesegerät und Transponder nur in begrenzten Zeiträumen stattfindet, spricht man von gepulsten Systemen. Während des Ladevorgangs befinden sich die Transponder im Stromsparmodus. Die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät startet nach Beendigung des Ladevorgangs und dauert die gesamte Sendepause an.¹⁰³
- Bei **Duplex-Verfahren** erfolgt die Übertragung der Daten zwischen Transponder und Lesegerät unabhängig von der Energieversorgung.¹⁰⁴ Beim Voll- und Halbduplexverfahren befinden sich die Transponder kontinuierlich im Feld des Readers. Der Unterschied zwischen den beiden Verfahren ist, dass beim Halbduplexverfahren die Übertragung von Informationen zeitlich versetzt

¹⁰¹ vgl. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2004, S.31ff.

¹⁰² vgl. Fischer, 2007, S.77

¹⁰³ vgl. Finkenzeller, 2015, S.41ff.

¹⁰⁴ vgl. Kern, 2007, S.60

stattfindet. In den somit entstehenden Ruhephasen wird die Stützbatterie der Transponder aufgeladen, damit der folgende Sendevorgang durchgeführt werden kann.¹⁰⁵

Ein Vorteil des Duplex-Verfahrens gegenüber dem sequenziellen Verfahren ist, dass durch kontinuierliche Energieversorgung nur geringere Speicherkapazitäten benötigt werden. Nachteilig wirkt sich hierbei die Überlagerung von Energieversorgung und Datenübertragung auf die Sendequalität aus.¹⁰⁶

Abbildung 9 zeigt die Energieübertragung, das Lesesignal und das Transpondersignal der verschiedenen Betriebsarten im zeitlichen Ablauf.

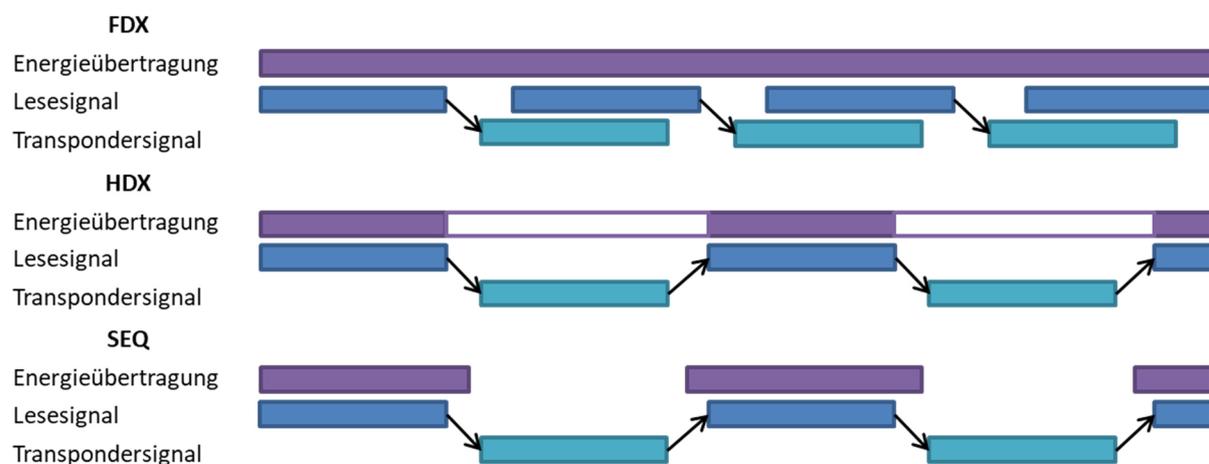


Abbildung 9: RFID-Betriebsarten¹⁰⁷

2.4.5 Frequenzbereiche

Aufgrund der verschiedenen Einsatzmöglichkeiten von RFID-Systemen und den damit verbundenen möglichen Störgrößen werden verschiedene Bauformen und Betriebsfrequenzen von RFID-Transpondern verwendet, um den jeweiligen Anforderungen gerecht zu werden.¹⁰⁸

Verschiedene Betriebsfrequenzen der Lesegeräte weisen unterschiedliche elektromagnetische Eigenschaften auf. Dadurch werden durch die Wahl einer Frequenz wesentliche Eigenschaften des RFID-Systems beeinflusst. Da es keinen optimalen Frequenzbereich gibt, der keinerlei Nachteile aufweist, wurden die Frequenzbereiche „Low Frequency“ (LF), „High Frequency“ (HF) und „Ultra High

¹⁰⁵ vgl. Schoblick und Schoblick, 2005, S.142f.

¹⁰⁶ vgl. Kern, 2007, S.60f.

¹⁰⁷ vgl. ebenda, S.60

¹⁰⁸ vgl. Bichler et al., 2010, S.206

Frequency“ (UHF) eingeführt. ¹⁰⁹ Tabelle 1 vergleicht die Eigenschaften der Frequenzbereiche.

	LF	HF	UHF
Reflexionen und Verluste	gering	mittel	hoch
Durchdringung von Wasser und anderen Materialien	keine Dämpfung	erste Dämpfungen nachweisbar	verstärkte Dämpfungen
Bauweise des Transponders	Ferritkern und Kupferspule	Luftspule mit aufgebracht flacher Folie	Dipolantenne
Übertragungsart	Nahfeld	Nahfeld	Fernfeld
Betriebsart	magnetische Kopplung	magnetische Kopplung	Backscatter-Verfahren
Energiebedarf	hoch	mittel	gering
Datenübertragungsrage	gering	mittel	hoch
Einfluss der Antennen-Orientierung	gering	mittel	hoch
Empfindlichkeit gegenüber Metall	mittel	mittel	gering
Kompatibilität mit anderem Frequenzbereich	nein	nein	nein

Tabelle 1: RFID-Frequenzbereiche nach Weinländer ¹¹⁰ und Kern ¹¹¹

¹⁰⁹ vgl. Kern, 2007, S.41

¹¹⁰ vgl. Weinländer, 2017, S.11

¹¹¹ vgl. Kern, 2007, S.41ff.

2.4.6 Transponder-Bauformen

Nach Finkenzeller zeigt Tabelle 2 verschiedene Bauformen von Transpondern und deren Einsatzmöglichkeiten:

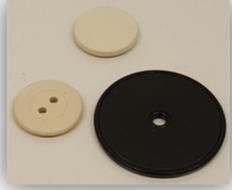
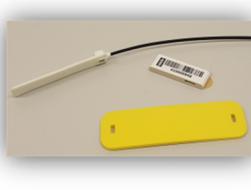
			
Disks und Münzen	Plastik- und Metallgehäuse	Smart Labels	Glasehäuse
Hierbei handelt es sich um ein scheibenförmiges Spritzgussgehäuse, mit einer oder mehreren Bohrungen zur Befestigung. Dies ist die am häufigsten eingesetzte Bauform.	Transponder mit Plastik- oder Metallgehäusen werden bei hohen mechanischen Anforderungen eingesetzt.	Diese papierdünnen Transponder werden auch RFID-Etiketten genannt und vor allem in der Logistik bei passiven RFID-Systemen verwendet.	Diese Transponder werden hauptsächlich bei der Tieridentifikation eingesetzt.
			
Schlüssel und Schlüsselanhänger	Uhren und Chipkarten	Sonderbauformen	
Diese Bauform wird für Türschließsysteme oder die Wegfahrsperrung von Fahrzeugen eingesetzt.	Uhren- und Chipkarten-Transponder werden u. a. bei Zutrittskontrollsystemen eingesetzt.	Sonderbauformen werden z. B. für Zeitmessungen im Sport eingesetzt.	

Tabelle 2: Transponder-Bauformen ¹¹²

2.4.7 Art der Datenspeicherung

Bei der Auswahl eines geeigneten RFID-Transponders muss neben Frequenz und Bauform auch die Art der Datenspeicherung einbezogen werden. Dazu werden folgende Möglichkeiten unterschieden:

¹¹² vgl. Finkenzeller, 2015, S.16ff.

- **ID-on-tag:** Hierbei handelt es sich um die klassische Variante von Identifikationssystemen. Bei dieser wird eine eindeutige ID, die in der Regel am Transponder gespeichert ist, zur Erkennung genutzt. Anhand dieser Nummer wird die dazugehörige Transporteinheit gefunden. Ein daraus folgender Vorteil ist, dass Transponder mit sehr geringer Speicherkapazität verwendet werden können. Außerdem ist es möglich, dadurch Informationen sehr schnell zu erfassen.
- **Data-on-tag:** Dieses Konzept beinhaltet neben der reinen Identifikationsnummer auch Nutzdaten über die Systemsteuerung wie Zielvorgaben oder Routinginformationen. Falls das Objekt das aktuelle System verlässt, kann das darauffolgende System diese Daten ebenfalls nutzen. Vorteil dieser Variante ist die Speicherung aller relevanten Daten direkt auf dem Transponder.
- **Agent-on-tag:** Dabei befindet sich der gesamte ausführbare Softwareagent am Transponder. Der Agent wandert somit direkt auf dem Objekt von Lesegerät zu Lesegerät.¹¹³

2.4.8 Logistische Anforderungen an RFID-Systeme

In der Logistik werden Transponder direkt am Objekt, am Ladungsträger oder am Transportmittel angebracht. Entscheidungskriterium, wo der Transponder angebracht wird, ist der Stückpreis des zu überwachenden Objekts und der betriebliche Prozessablauf. Führen die Kosten des Transponders zu einem erheblichen Anstieg des Stückpreises, werden Transponder bspw. an wiederverwendbaren Ladungsträgern befestigt. Bezüglich des Prozessablaufs wird versucht, dass das RFID-System die gewünschten Anforderungen erfüllt, gleichzeitig aber wirtschaftlich betrieben werden kann.

RFID konnte aufgrund von technischen Einflussgrößen nicht in allen Bereichen erfolgreich eingeführt werden. Im Logistiksektor befindet sich der Einsatz von RFID in der Testungsphase. Größtes Problem dabei ist, dass Einflussgrößen, die zu verringerten Reichweiten oder eingeschränkten Lesevorgängen führen, im Labor nicht vollkommen abgebildet werden können.¹¹⁴ Diese Einflussgrößen lassen sich in Führungs- und Störgrößen unterteilen. Durch die Kombination von Führungsgrößen wie die Antennenbauart, die Übertragungsweise der Daten, der Energieversorgung oder die Speicherart können Datenübertragungen gesteuert werden. Störgrößen wiederum dämpfen oder absorbieren RFID-Signale. Zum Abbau von Störgrößen wird versucht, diese in Führungsgrößen umzuwandeln.

¹¹³ vgl. Günthner und Hompel, 2010, S.116f.

¹¹⁴ vgl. Bichler et al., 2010, S.206

Nach Kern beeinflussen folgende Umwelteinflüsse RFID-Systeme negativ:

- Entfernung und Orientierung der Lesegeräte zum Transponder
- Geschwindigkeit des Transponders während des Lesevorgangs
- Störfrequenzen
- anderer Transponder sowie die Position zueinander
- Untergrundmaterialien
- Metall und Reflexionen, die durch Metall-Oberflächen ausgelöst werden
- Wasser
- Temperatur und Feuchtigkeit ¹¹⁵

Besonders stark beeinflussende Störgrößen für RFID-Systeme im Logistikbereich sind:

- **Wetter:** Aufgrund verschiedener Wetterverhältnisse und Temperaturen, entsteht Feuchtigkeit, die die Empfangsstärken reduzieren.
- **Fahrzeuge:** Die Art der Fahrzeuge im Logistik-System können Reichweiten verschlechtern.
- **Industriegebäude:** Metallische Gegenstände, wie Metallsäulen, Metalldächer oder ähnliches, führen zu Reflexionen der Radiowellen. Somit können Transponder wegen Reflexionen an Lesegeräten erkannt werden, obwohl sich dieser nicht im Feld des Lesegeräts befindet. ¹¹⁶

Der Einsatz von RFID in Materialflusssystemen bedingt erweiterte Anforderungen an Transponder und Frequenzbereiche. In Materialflusssystemen muss hohe Verfügbarkeit und Lesesicherheit gegeben sein, auch bei Umgebungen mit metallischen Komponenten. Zur Beseitigung dieses Problems können durch den Einsatz mehrerer Antennen, sowie deren geschickter Anordnung, praktikable Lösungen gefunden werden. Die Lokalisierung und die Abstandsbestimmung ist eine weitere Anforderung von Materialflusssystemen. Durch Bestimmung der Entfernung der Transponder zu RFID-Antennen kann die Bewegung von Gütern oder Transportmitteln auf bestimmten Förderstrecken ermittelt werden. Diese Anwendung wird z. B. bei der Steuerung von Weichen oder Staustrecken benötigt. Weiters müssen Lese- und Schreibgeschwindigkeiten sowie das Pulklesen aller zu erfassenden Güter den unterbrechungsfreien Betrieb des Systems gewährleisten. ¹¹⁷

Nach Weinländer muss das RFID-System im Logistikbereich robust, sicher und flexibel sein. Robustheit bedeutet, dass es rund um die Uhr einsatzfähig sein muss. Systemausfälle können einen Stillstand des gesamten Produktionsprozesses bedeuten. Sicherheit betrifft sowohl die reibungslose Datenübertragung innerhalb

¹¹⁵ vgl. Kern, 2007, S.38ff.

¹¹⁶ vgl. Bichler et al., 2010, S.206

¹¹⁷ vgl. Günthner und Hompel, 2010, S.115f.

des Systems als auch den Schutz vor Cyber-Attacken. Flexibilität bedeutet, dass RFID-Systeme bezüglich Erweiterungen oder Änderungen des Produktionsprozesses reibungsfrei anpassungsfähig sein müssen.¹¹⁸

¹¹⁸ vgl. Weinländer, 2017, S.21ff.

3 State-of-the-Art „Materialflussanalyse mittels RFID“

Aufbauend auf den gegebenen theoretischen Grundlagen wird in diesem Kapitel der State-of-the-Art des Einsatzes von RFID zur Optimierung von Materialflüssen in Unternehmen ermittelt.

Chai et al. entwickelten ein RFID-System, das Referenz-Tags zur Erkennung der Position von bewegten Objekten, wie z. B. Gabelstaplern in Unternehmen, verwendet. Das System besteht aus aktiven RFID-Tags, die an bewegten Objekten angebracht werden, stationären RFID-Readern und einem PC, der die generierten Daten verwaltet. Zur Lokalisierung der bewegten Objekte dienen stationäre Referenz-Tags, die eingemessen sind. Chai et al. wenden dieses RFID-System im Rahmen eines Fallbeispiels in der Öl- und Gasindustrie an, um die Mitarbeiter- und Prozesssicherheit zu steigern. Hierbei hat sich der aufwändige Aufbau der Referenz-Tags als Hindernis dargestellt, da dadurch der Produktionsbetrieb gestoppt werden musste.¹¹⁹

Einen ähnlichen Ansatz verfolgen Wang et al., indem sie Referenz-Tags in den Boden der Fabrikhalle einlassen. Am Gabelstapler sind ein Reader und die dazugehörige Steuereinheit angebracht. Fährt ein Gabelstapler über die Referenz-Tags, werden diese vom Reader erkannt und liefern somit die Position des Staplers. Wird ein Tag über längere Zeit erkannt, zeigt dies, dass der Gabelstapler beladen oder entladen wird. Die generierten Daten können für diverse Analysen mit dem Ziel der Produktivitätssteigerung verwendet werden.¹²⁰

Arkan entwickelte eine Auswertungsmethode für Real-Time Locating Systeme (RTLS) mit aktiven RFID-Komponenten, um Materialflüsse zu optimieren. Durch die Auswertung der RFID generierten Daten sollen die logistischen Kosten reduziert, die Verfügbarkeit logistischer Objekte, die Produktivität des Unternehmens und die Transparenz der Intralogistik erhöht werden. Außerdem werden die berechneten Kennzahlen mittels eines entwickelten Dashboards dargestellt.

Anhand von drei Fallbeispielen in der Automobilindustrie wurde diese Methode getestet. Bei einem Unternehmen, das Plastik-Karosserieteile herstellt, wurden in der Qualitätskontrolle neun Reader, ein Handlesegerät und 52 aktive RFID-Tags verwendet. Die Reader wurden stationär aufgebaut und die Tags direkt an den Karosserieteilen angebracht. Bei einem weiteren Unternehmen in der Automobilindustrie wurde ein RFID-System aufgebaut, das Referenz-Tags einsetzt, um fünf Fahrerlose Transportsysteme und zwei Routenzüge untersuchen zu können.

¹¹⁹ vgl. Chai et al., 2017, S.2ff.

¹²⁰ vgl. Wang et al., 2014, S.165ff.

Im Rahmen des dritten Fallbeispiels wurde der LKW-Verkehr am Haupttor des Betriebsgeländes eines Unternehmens untersucht.

Nur beim ersten Fallbeispiel konnten Kennzahlen generiert werden, die in weiterer Folge zu Verbesserungen im Materialfluss geführt haben. In den anderen beiden Fällen konnten durch unternehmensspezifische Störgrößen keine validen Daten erzeugt werden. Dies zeigt, dass RFID-generierten Datensätze vor der Berechnung von Kennzahlen spezifisch aufbereitet und Fehlmessungen beseitigt werden müssen.¹²¹

Das Simulationsmodell von Burinskiene wurde mit dem Hintergrund der Optimierung von Gabelstapler Operationen in Lagern entwickelt. Um die Ergebnisse des Simulationsmodells validieren zu können, wird ein RFID-System bestehend aus aktiven und passiven RFID-Tags herangezogen. Dazu werden die aktiven Reader im Unternehmen verteilt und zeichnen aktive Tags auf, die am Gabelstapler angebracht sind. Passive Antennen sind am Gabelstapler befestigt, die Paletten mit passiven Tags identifizieren können. Abbildung 10 zeigt den Aufbau dieser Anwendung.¹²²

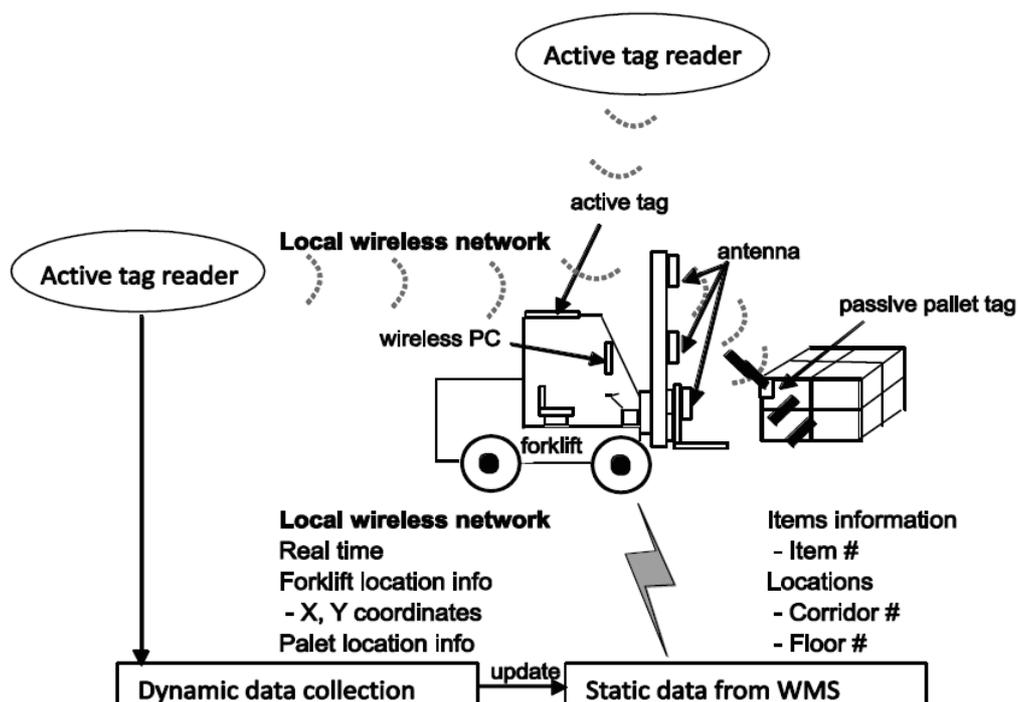


Abbildung 10: RFID-System bestehend aus aktiven und passiven RFID-Komponenten¹²³

Nimmt ein Gabelstapler eine Palette für den Transport auf, kann aufgrund der Kombination von passiven und aktiven RFID-Komponenten die Echtzeit-Position des Gabelstaplers und der Palette nachvollzogen werden. Weiters werden durch die Identifikation des transportierten Objekts u. a. die Transportaufwände oder die

¹²¹ vgl. Arkan, 2015, S.53ff.

¹²² vgl. Burinskiene, 2015, S.622f.

¹²³ Burinskiene, 2015, S.623

Lagerplätze der Paletten in ein Lagerverwaltungssystem gebucht. Mittels eines Monitors können dem Gabelstaplerfahrer Daten aus dem Lagerverwaltungssystem angezeigt werden. Anwendungsfälle dieser Methode sind die Erkennung von eintreffenden Gütern im Wareneingang, die Zuordnung von Paletten und Lagerplätzen sowie die Schaffung von Transparenz bezüglich Beständen und Transportaufkommen im Unternehmen. ¹²⁴

Chow et al. bauen grundsätzlich auf einen ähnlichen Ansatz auf, anstelle von aktiven RFID-Komponenten werden jedoch aktive Ultrawideband-Tags und -Reader eingesetzt, um Gabelstapler zu verfolgen. ¹²⁵

Dagegen beschreiben Dzung et al. aktive RFID-Komponenten als Unterstützungsinstrument bei der Planung von Gebäuden. Um Abläufe in Gebäuden transparent gestalten zu können, werden Menschen mit aktiven RFID-Tags ausgestattet. Die aufgezeichneten Daten werden zur Optimierung von Gebäuden herangezogen. ¹²⁶

Im Gegensatz dazu verwenden Mel et al. passive RFID-Etiketten und Handlesegeräte, um Materialflüsse und Bestände aufzuzeichnen und anschließend optimieren zu können. Die Studie wird in kleineren Unternehmen in der Lebensmittel- oder Kosmetikindustrie durchgeführt, da in diesen Betrieben keine Aufzeichnungen bezüglich Beständen oder Materialflüssen geführt werden. Aufgrund diverser Störgrößen konnten nur wenig aussagekräftige Ergebnisse geliefert werden. ¹²⁷

Um Informationen über aktuelle Produktionsdaten zu erhalten und die Planung ohne aufwändige Forecasts durchführen zu müssen, entwickelten Müller et al. ein intelligentes Material-Shuttle. Durch den Einsatz von RFID-Komponenten an diesem Shuttle konnten die vorher fehlenden Daten generiert und dadurch Transparenz geschaffen werden. ¹²⁸

Zhang et al. gehen einen Schritt weiter, indem Transportwagen mit RFID-Komponenten ausgestattet werden, um neben der aktuellen Position auch Daten über den Beladungszustand zu erhalten. Mittels einer intelligenten Steuerungssoftware wird dem am besten geeigneten Transportwagen ein neuer Transportauftrag zugewiesen. ¹²⁹

Zusammenfassend werden die Erkenntnisse der State-of-the-Art Literaturrecherche in Tabelle 3 festgehalten.

¹²⁴ vgl. Burinskiene, 2015, S.622f.

¹²⁵ vgl. Chow et al., 2006, S.568

¹²⁶ vgl. Dzung et al., 2014, S.68ff.

¹²⁷ vgl. Mel et al., 2016, S.4ff.

¹²⁸ vgl. Müller et al., 2018, S.967ff.

¹²⁹ vgl. Zhang et al., 2015, S.282ff.

Autor	Energieversorgung	Aufbau des Systems	Objekt	Fallbeispiel	ermittelte Kenngrößen	Ziel	Schwierigkeiten
Chai et al.	aktiv	Tags am Gabelstapler, eingemessene Referenz-Tags, stationäre Reader, PC	Gabelstapler	Fallbeispiel in der Öl- und Gasindustrie	Gabelstapler-Position	Erhöhung der Mitarbeiter- und Prozesssicherheit	Produktionsstillstand durch aufwändigen Aufbau der Referenz-Tags
Wang et al.	aktiv	Referenz-Tags im Hallenboden eingelassen, Reader am Gabelstapler	Gabelstapler	-	Gabelstapler-Position, Verweildauer bei Be- und Entladung	Produktivitätssteigerung	-
Arkan	aktiv	RTLS mit Tags am Objekt und stationären Readern	Karosserieteile, Fahrerlose Transportsysteme, Routenzüge, LKW-Verkehr	drei Fallbeispiele in der Automobilindustrie	Position der Objekte, Transportaufwände, etc.	Reduktion von Logistikkosten, Erhöhung der Verfügbarkeit logistischer Objekte, Schaffung von Transparenz, Produktivitätssteigerung	aufgrund von unternehmensspezifischen Störgrößen konnten nur bei einem Fallbeispiel brauchbare Daten ermittelt werden
Burinskiene	aktiv und passiv	stationäre Reader, aktive Tags und passive Antennen am Gabelstapler, passive Tags an Paletten	Gabelstapler und Transportgüter	Abgleich von entwickeltem Simulationsmodell	Position von Gabelstaplern und Transportgut	Zuordnung von Paletten und Lagerplätzen, Schaffung von Transparenz bez. Beständen und Transportaufkommen	-
Chow et al.	aktiv und passiv	stationäre Ultrawideband-Reader, aktive Ultrawideband-Tags und passive Reader am Gabelstapler, passive Tags an Objekten	Gabelstapler und Transportgüter	Fallbeispiel in Logistik- und Distributionszentrum	Position von Gabelstaplern und Transportgut	Zuordnung von Paletten und Lagerplätzen, Verkehrsaufkommen	-
Dzeng et al.	aktiv	stationäre Reader, Menschen haben Tags	Menschen	-	Bewegungen von Menschen in Gebäuden	optimierte Planung von Gebäuden	-
Mel et al.	passiv	Handlesegeräte, passive RFID-Etiketten	Waren der Lebensmittel- und Kosmetik-Industrie	Fallbeispiel in verschiedenen Kleinunternehmen in der Lebensmittel- und Kosmetik-Branche	Abgang und Zugang von Waren	Transparenz bezüglich Beständen und Materialflüssen	keine aussagekräftigen Ergebnisse aufgrund unternehmensspezifischer Störgrößen
Müller et al.	passiv	Reader an RFID-Gates, Transportgüter mit passiven Tags	Material auf Material-Shuttles	-	Position der Transportgüter	Erhalt aktueller Produktionsdaten via E-Ink Display, Planung ohne Forecasts	-
Zhang et al.	passiv	RFID-Tags an Werkern, Paletten etc., Reader am Material-Shuttle	Material-Shuttles, Güter, Paletten, Werker etc.	Fallbeispiel bezüglich Material-Handlings durchgeführt	Quelle-Senke-Beziehungen, Position der Objekte, Beladungszustand	intelligenter Einsatz von Material-Shuttles	-

Tabelle 3: Zusammenfassung State-of-the-Art

4 Entwicklung einer Auswertungsmethode

In diesem Abschnitt wird der Ausgangszustand der bisher vorhandenen Auswertungsmethode betrachtet. Darauf aufbauend werden Anforderungen für die neue Auswertungsmethode abgeleitet und eine geeignete Programmiersprache gewählt. Weiters wird der Aufbau der Programmierung des Auswertungstools dokumentiert. Abschließend werden alle Funktionen des Auswertungstools in Form eines Handbuchs für Anwender erläutert.

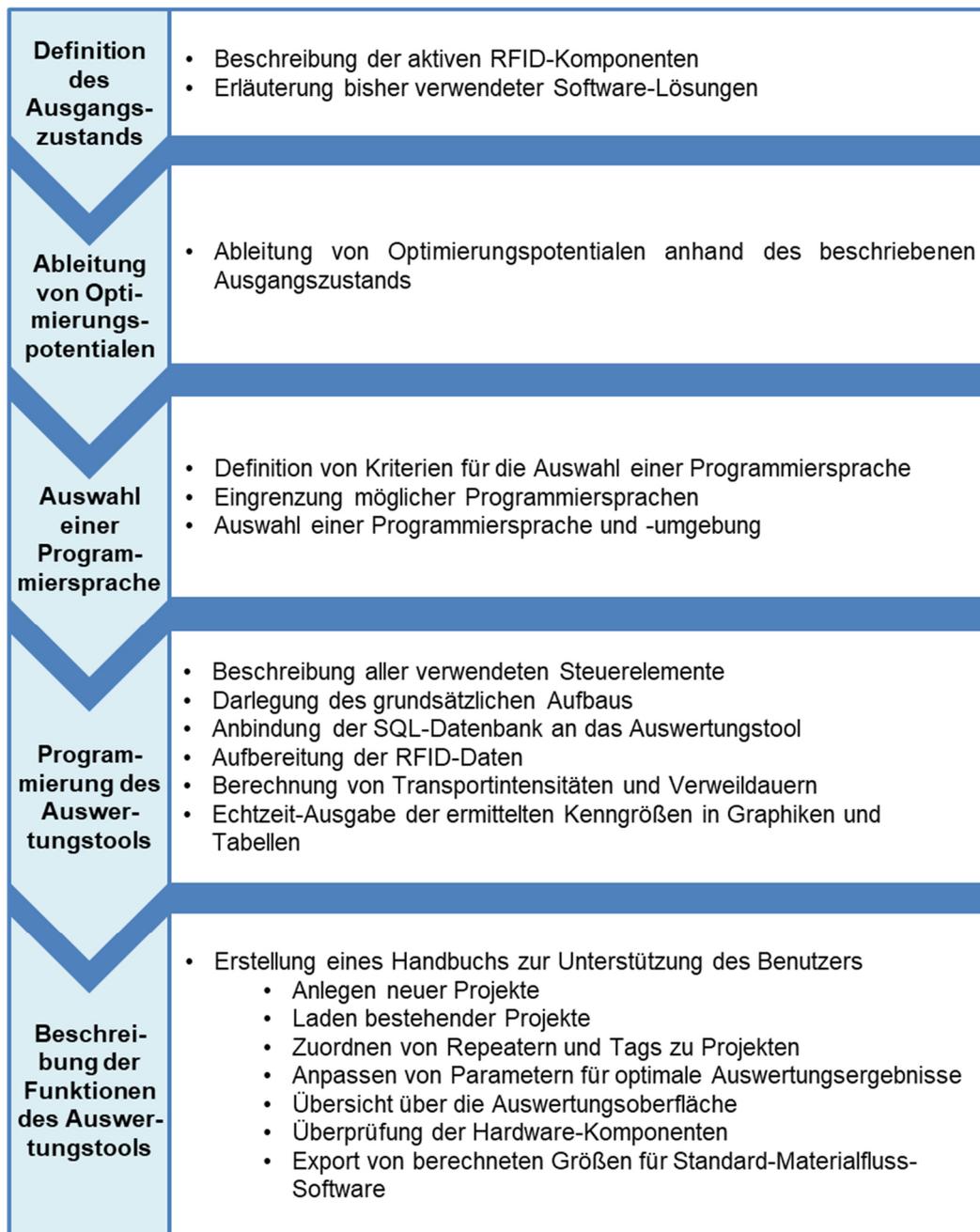


Abbildung 11: Vorgehensweise bei der Entwicklung der neuen Auswertungsmethode ¹³⁰

¹³⁰ Eigene Darstellung

4.1 Ausgangszustand

Intransparenzen über eigene Prozesse sowie fehlende oder falsche Datensätze machen es oft unmöglich, korrekte Analysen, wie z. B. Materialflussanalysen durchzuführen. Daher wurde eine temporäre, aktive RFID-Trackinglösung von Fraunhofer Austria entwickelt, um über einen begrenzten Zeitraum Daten zu generieren, mit denen Materialflussanalysen zur Ableitung von Verbesserungspotentialen durchgeführt werden können. Die dazu verwendeten Hardware- und Software-Komponenten sowie deren Zusammenspiel werden anhand eines Experteninterviews mit Dipl.-Ing. Rainer Pascher erhoben und in Kapitel 4.1 und 4.2 erläutert.¹³¹

4.1.1 Hardware

Am Leitrechner ist die benötigte Software (siehe 4.1.2 Software) für die aktive RFID-Trackinglösung installiert. Anforderungen an den PC sind:

- Betriebssystem „Microsoft Windows XP“ oder höher
- Internetfähigkeit



Abbildung 12: Leitrechner¹³²

Mittels WLAN-Routers wird ein eigenes WLAN-Netzwerk aufgebaut, das als Schnittstelle zwischen den RFID-Komponenten und dem Leitrechner fungiert. Das WLAN-Netzwerk greift nicht in den laufenden Betrieb des Unternehmens ein und kann flexibel am Einsatzort installiert werden, um optimale Empfangsqualitäten erzielen zu können. Sollte die Anwendung sehr große Reichweiten erfordern, können zusätzlich WLAN-Repeater eingesetzt werden.



Abbildung 13: WLAN-Router¹³³

¹³¹ vgl. Experteninterview Pascher, geführt am 01.08.2018

¹³² Eigene Darstellung

¹³³ Eigene Darstellung

Die Netzwerkantennen sind sowohl mit dem WLAN- als auch mit dem RFID-Netzwerk verbunden. Sie empfangen die UHF Signale der RFID-Komponenten und leiten diese via Ethernet oder via WLAN-Client und WLAN zur Software am Leitreechner weiter. Die Stromversorgung erfolgt mittels „Power over Ethernet“ (PoE) Adapter oder mittels Batterie.



Abbildung 14: Netzwerkantenne ¹³⁴

Der Abbildung 15 ist das Zusammenspiel der beschriebenen Hardware-Komponenten zu entnehmen. Der WLAN-Router spannt ein WLAN-Netz auf. Innerhalb des WLAN-Netzwerks befinden sich der Leitreechner und die Netzwerkantennen. Diese bauen das RFID-Netz auf, in dem sich die aktiven RFID-Komponenten befinden.

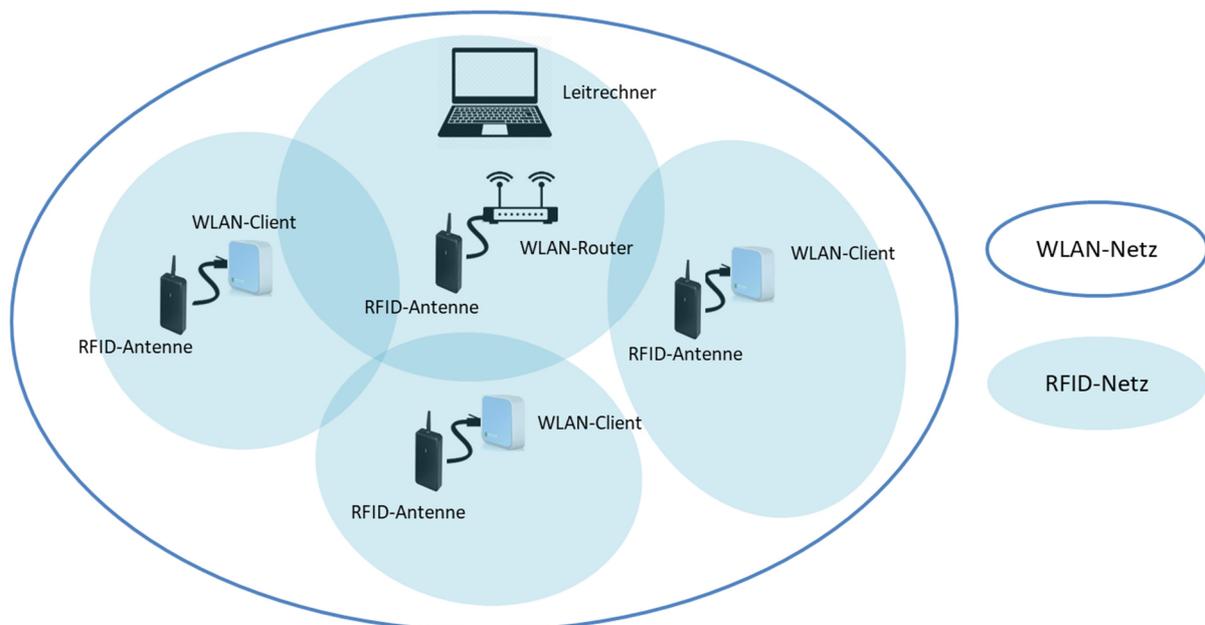


Abbildung 15: Netzwerk der temporären, aktiven RFID-Trackinglösung ¹³⁵

¹³⁴ Eigene Darstellung

¹³⁵ Eigene Darstellung

Die verwendeten RFID-Komponenten dieser Trackinglösung können zur Absicherung und Ortung von Wertgegenständen, Fahrzeugen oder Personen für eine Reichweite von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern eingesetzt werden. Mittels Micro-USB-Anschlusses können die Komponenten frei konfiguriert werden. Dies betrifft die eindeutige Identifikationsnummer und die Betriebsart Repeater bzw. die Betriebsart Tag. Die Sendestärke und Empfangsstärke in Dezibel bei der Betriebsart Repeater und das Taktungsintervall bei der Betriebsart Tag sind weitere Einstellungsmöglichkeiten.

Bei der vorliegenden Trackinglösung werden sogenannte Repeater verwendet, um Räume, Bereiche oder Umschlagorte zu definieren. Mit einer Frequenz von 868 MHz empfangen die Repeater die beweglichen Tags und leiten die Empfangsstärke an die Netzwerkantenne weiter. Die Stromversorgung erfolgt mittels Batterie oder Netzteil und Steckdose. Die Befestigungen bei einem temporären Aufbau erfolgt mittels Kabelbindern, Klebebändern oder ausklappbarem Stativ.



Abbildung 16: RFID-Repeater ¹³⁶

Zur Ortung von Fahrzeugen, Personen oder Werkzeugen werden Tags eingesetzt. Diese senden im vorgegebenen Takt an die Repeater, die sich in der Nähe befinden. Die Stromversorgung erfolgt mittels Knopfzellen des Typs CR 2032. Beim Einsatz werden die Tags mittels Kabelbinder oder Klebeband am zu ortenden Objekt angebracht.

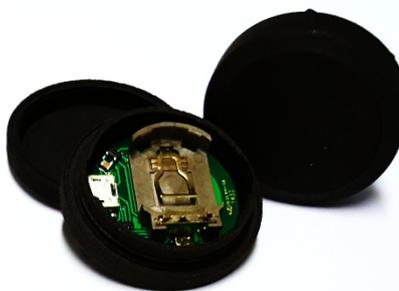


Abbildung 17: RFID-Tag ¹³⁷

¹³⁶ Eigene Darstellung

¹³⁷ Eigene Darstellung

Abbildung 18 zeigt die Verteilung der Repeater in einem Werkslayout sowie Tags, die an Gabelstaplern angebracht sind. Fährt ein Gabelstapler an einem Repeater vorbei, wird der Tag vom Repeater erkannt. Der Repeater sendet diese Information via RFID-Netz an die Netzwerkantenne, die diesen Datensatz über WLAN an die Datenbank am Leitrechner weiterleitet. Nach einem Beobachtungszeitraum von zwei bis vier Wochen werden die generierten Daten mit entsprechender Software ausgewertet.¹³⁸

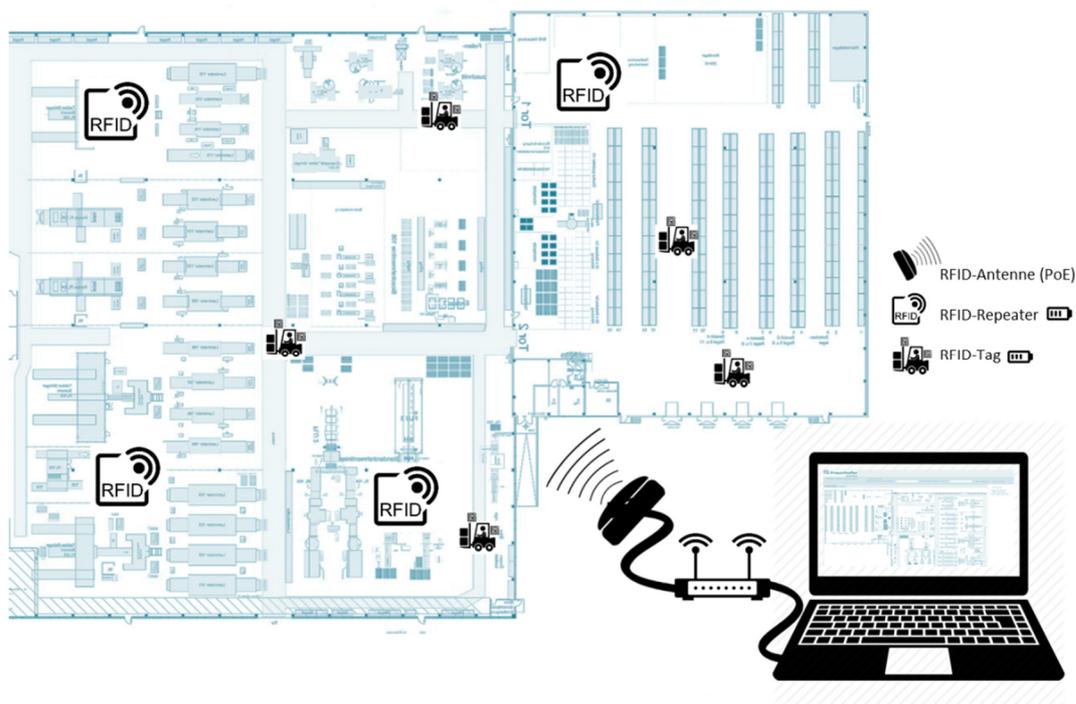


Abbildung 18: Aufbau der temporären, aktiven RFID-Trackinglösung¹³⁹

4.1.2 Software

Folgende Software-Pakete werden aktuell für die temporäre, aktive RFID-Trackinglösung herangezogen:

- **Webserver**

Dieses Software-Paket kann nach erfolgter Installation am Leitrechner in Internetbrowsern unter „localhost“ oder „127.0.0.1“ aufgerufen werden. Es dient zur Positionsbestimmung der Tags anhand einer graphischen Oberfläche, in die Antennen und Repeater eingezeichnet werden. Mittels der Sabotage-Funktion dieser Software kann der Benutzer die Aktivität von Tags und Repeatern überprüfen. Dadurch können beispielsweise Ausfälle von Akkupacks oder Repeatern identifiziert werden. Außerdem dient dieses Tool zum Anlegen von neuen Tags, Repeatern, Karten und Objekten.

¹³⁸ vgl. Experteninterview Pascher, geführt am 01.08.2018

¹³⁹ Eigene Darstellung

- **SQL-Datenbank**

Ebenfalls am Leitrechner ist eine SQL-Datenbank installiert, in der Daten zu Tags, Repeatern etc. verwaltet werden. Außerdem werden die generierten RFID-Daten der Trackinglösung mit Zeitstempel, Tag-ID, Repeater-ID, Antennen-ID und Empfangsqualität gespeichert. Nach Ablauf des Trackings werden die Datensätze in ein CSV-File exportiert, das in weiterer Folge in „Microsoft Excel“ aufbereitet und ausgewertet wird.

- **Microsoft Excel**

Mittels „Microsoft Excel“ erfolgt die Bereinigung von Fehlmessungen sowie die Berechnung von Transportintensitäten und Verweildauern. Dazu wird eine Excel-Vorlage erstellt, in die die Datensätze des exportierten CSV-Files kopiert werden. Im ersten Schritt erfolgt die Anpassung der Zeitstempel, da die RFID-Komponenten Daten in einer anderen Zeitzone aufzeichnen. Anschließend werden die Datensätze mit adaptiertem Zeitstempel in eine Pivot-Tabelle kopiert. Nach der Auswahl eines Tags erfolgt die Datenaufbereitung in verschiedenen Tabellenblättern, in die die Datensätze immer kopiert werden müssen. Dabei werden Datensätze ermittelt, deren Zeitstempel innerhalb einer Zeitspanne von einer Sekunde liegen und unterschiedliche Repeater-IDs aufweisen. Der Datensatz mit der geringeren Empfangsstärke muss gelöscht werden. Nach einer Kontrolle, ob alle falschen Datensätze bereits bereinigt sind, werden Daten untersucht, die innerhalb von sechs Sekunden liegen und die Reihenfolge Repeater A, Repeater B und Repeater A aufweisen. Bei diesen Daten muss der mittlere Repeater gelöscht werden, falls eine Empfangsstärke unter einem Grenzwert liegt. Nachdem die Bereinigung der Daten abgeschlossen ist, werden die Datensätze in eine Tabelle kopiert, in der die Transportintensitäten und Verweildauern mittels Excel-Funktionen bestimmt werden.

- **visTABLE@touch**

Die Fabrikplanungssoftware „visTABLE@touch“ wird zur Visualisierung der Transportbeziehungen verwendet. Dazu werden alle Quellen und Senken sowie das Transportnetz in das Fabriklayout eingezeichnet. Die mit „Microsoft Excel“ berechneten Intensitäten und Verweildauern werden als CSV-Files importiert, die Transportintensitäten als Materialflüsse und die Verweildauern durch unterschiedlich große Durchmesser der Quellen und Senken dargestellt. Außerdem werden Distanz-Intensitäts-Diagramme erstellt. Die Ermittlung dieser Kennzahlen und Diagramme ermöglicht, Schwachstellen im Materialfluss aufzuzeigen. ¹⁴⁰

¹⁴⁰ vgl. Experteninterview Pascher, geführt am 01.08.2018

4.2 Optimierungspotentiale der Auswertungsmethode

Anhand des beschriebenen Ausgangszustands lassen sich folgende Verbesserungspotentiale der Auswertungsmethode ableiten:

- **Reduktion des Zeitaufwandes**

Einer der wesentlichsten Punkte ist die Reduktion des Zeitaufwandes sowohl bei der Auswertung der Rohdaten, als auch bei der Datenaufbereitung für Standard-Materialfluss-Software wie „visTABLE@touch“. So muss bspw. bei der bisherigen „Microsoft Excel“ Vorlage jeder RFID-Tag einzeln und unter hohem Zeitaufwand ausgewertet werden.

- **Erhöhung der Datenqualität**

Durch die Optimierung der Auswertungsmethode soll die Datenqualität verbessert werden. Dies soll dazu führen, dass die entwickelte Auswertungsmethode bei jedem Aufbau der temporären RFID-Trackinglösung optimal und unter geringem Aufwand angepasst werden kann.

- **Steigerung der Benutzerfreundlichkeit**

Durch die Vereinfachung der Datenauswertung, die Reduktion von potentiellen Fehlerquellen bei der Datenaufbereitung sowie den Abbau von Software-Schnittstellen, soll die Benutzerfreundlichkeit der Auswertungsmethode wesentlich verbessert werden. Auswertungen, mit der bisherigen „Microsoft Excel“ basierten Methode, werden teilweise durch falsche Benutzung verfälscht. Mögliche Fehlerquellen sind z. B. Formeln, die nicht über alle Datensätze angewendet werden oder die falsche oder fehlende Eingabe von Repeater-IDs.

- **Schaffung von Echtzeit-Analysen und Echtzeit-Visualisierungen**

Um die Interaktion zwischen Projektpartnern steigern zu können, sollen Echtzeit-Analysen und Echtzeit-Visualisierungen von Materialflüssen und Prozesszeiten entwickelt werden. Diese sollen als Diskussionsgrundlage dienen, aber auch für den weiteren Projektverlauf nutzbar sein.

- **Eliminierung von Instabilitäten und Problemquellen**

Instabilitäten der Hardware-Komponenten mittels Software sollen abgebaut werden, mit dem Ziel, dass das System zuverlässig über mehrere Wochen ohne permanente Kontrolle des Benutzers eingesetzt werden kann. ¹⁴¹

¹⁴¹ vgl. Experteninterview Pascher, geführt am 01.08.2018

4.3 Auswahl einer Programmiersprache

Um die definierten Anforderungen an das neue Auswertungstool realisieren zu können, ist die Auswahl einer dafür passenden Programmiersprache essentiell. Kriterien für die Auswahl der Sprache sind:

- Benutzerfreundlichkeit des Auswertungstools
- Möglichkeit zur Erweiterung des Auswertungstools durch Dritte
- Sicherheit und Stabilität des Programms
- Kompatibilität mit „Microsoft Windows“ Betriebssystemen
- Anbindung der SQL-Datenbank an das Auswertungstool

Um diese Kriterien erfüllen zu können, eignen sich verschiedene Sprachen wie C#, Visual Basic oder Java. Nach Kofler soll bei gleichwertigem Leistungsumfang der Programmiersprachen jene verwendet werden, die dem Programmierer sympathisch erscheint.¹⁴² Daher wird für diese Diplomarbeit die Programmiersprache Visual Basic, kurz VB, für die Programmierung des Auswertungstools verwendet.

Visual Basic eignet sich für die Erstellung von leistungsstarken, auf graphische Benutzeroberflächen basierenden Anwendungen bei gleichzeitig geringem Programmieraufwand.¹⁴³ Der wesentlichste Vorteil von VB ist die sehr einfach lesbare und nachvollziehbare Syntax. Diese ermöglicht trotz höherem Tippaufwand sehr schnelle Entwicklungsfortschritte.¹⁴⁴ Außerdem kann das Programm von Laien verstanden und von diesen auch erweitert werden. Beispiele für die vereinfachte Syntax sind die Überladung des Operators „=“ oder, dass zwischen Groß- und Kleinschreibung nicht unterschieden wird.¹⁴⁵ Im Vergleich zu anderen Programmiersprachen wie C# weisen VB-Anwendungen hohe Sicherheit, Kompatibilität und Stabilität auf.

Ein großer Nachteil von VB ist die Limitierung auf „Microsoft Windows“ Betriebssysteme. Trotzdem werden VB-Anwendungen weit verbreitet eingesetzt, wie beispielsweise für Front-End-Datenbanken. Im Vergleich zu anderen Programmiersprachen benötigen VB-Programme mehr Speicherplatz. Dies liegt vor allem an der graphischen Benutzeroberfläche der Programme.¹⁴⁶

Die beschriebenen Eigenschaften von VB-Anwendungen zeigen, dass sich die gewählte Programmiersprache Visual Basic hervorragend für das vorliegende Projekt eignet. Die Benutzerfreundlichkeit des Auswertungstools wird durch die graphische

¹⁴² vgl. Kofler, 2011, S. 52

¹⁴³ vgl. Wagner, H.: Warum Visual Basic .NET? (15.11.2004), <https://dotnet.currifex.org/dotnet/articles/whyvbdotnet/> (gelesen am: 14.04.2018)

¹⁴⁴ vgl. Kofler, 2011, S. 51

¹⁴⁵ vgl. Wagner, H.: Warum Visual Basic .NET? (15.11.2004), <https://dotnet.currifex.org/dotnet/articles/whyvbdotnet/> (gelesen am: 14.04.2018)

¹⁴⁶ vgl. Kofler, 2011, S. 51ff.

Benutzeroberfläche geschaffen. Aufgrund der gut lesbaren Syntax besteht die Möglichkeit zur Erweiterung des Auswertungstools durch Dritte, auch wenn diese unerfahrene Programmierer sind. VB-Programme weisen Sicherheit und Stabilität auf und sind mit Betriebssystemen von „Microsoft Windows“ kompatibel. Außerdem kann durch Import-Funktionen mittels SQL auf die RFID-Datenbank zugegriffen werden.

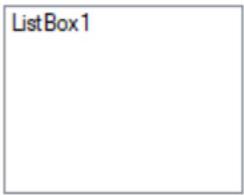
4.4 Vorgehensweise bei der Programmierung

Als Programmierumgebung wird eine Visual Basic Express Edition verwendet. Vorteile dieser Programmierumgebung sind:

- Beim Erstellen eines neuen Projekts wird automatisch das gesamte Verzeichnis erstellt, das benötigt wird, damit das Projekt ausgeführt werden kann. Daher ist es möglich, Projekte ohne Installation bzw. ohne Programmierumgebung auf allen Computern mit Windows als Betriebssystem zu starten.
- Alle Steuerelemente, sogenannte Windows Forms, sind vordefiniert und können mittels „drag and drop“ in das Projekt gezogen werden. Anschließend können Name, Text, Größe und viele weitere Einstellungen entweder direkt im Eigenschaftfenster oder durch Programmierung des Steuerelements bearbeitet werden. Mittels Doppelklick auf die jeweilige Windows Form, können diese programmiert werden.

In der folgenden Tabelle sind alle Windows Forms beschrieben, die bei der Programmierung des Auswertungstools verwendet werden.

Steuerelement	Bezeichnung	Beschreibung
	Form	Die Form enthält die Oberfläche für den Benutzer des Programms und dient als Container für alle anderen Steuerelemente.
	Button	Ein Button ist eine Befehlsschaltfläche. Durch das Klicken auf einen Button kann der Benutzer Ereignisse auslösen, um bestimmte Programmteile zu starten.

Steuerelement	Bezeichnung	Beschreibung
	Checkbox	Mittels Checkboxes können boolesche Zustände programmiert werden. Selektierte Checkboxes stehen für den Zustand „True“, unselektierte für „False“.
	Context-MenuStrip	Ein ContextMenuStrip ist ein Menü, das an andere Steuerelemente wie Buttons angefügt werden kann. Durch die Auswahl eines der Elemente des Menüs werden hinterlegte Funktionen ausgeführt.
	Label	Labels sind Bezeichnungsfelder, die zur Ausgabe von Informationen dienen.
	ListBox	In Listboxen können Aufzählungen in einer Spalte angezeigt werden. Durch Selektierung eines „Items“ können Teile der Programmierung ausgeführt werden.
	Listview	Mittels Listviews erfolgt die Auflistung von Datensätzen in Tabellenform.
	MenuStrip	Ein MenuStrip dient als Hauptmenü einer Form. Durch Auswahl eines Menüpunkts werden Teile der Programmierung ausgeführt.
	Panel	Panels sind Container, in die Steuerungselemente eingebettet werden. Außerdem können Abbildungen mit Panels wiedergegeben werden.

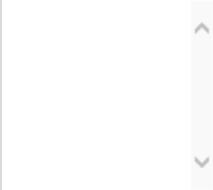
Steuerelement	Bezeichnung	Beschreibung
	PictureBox	Pictureboxen dienen zur Ausgabe von Abbildungen oder Graphiken.
	TextBox	In Textboxen erfolgt die Eingabe von Texten oder Zahlen vom Benutzer, die vom Programm weiterverarbeitet werden.
	Timer	Ein Timer ist ein Countdown, der nach Ablauf des Zeitintervalls ein Ereignis auslöst.
	Webbrowser	Mittels Webbrowser kann ein eigener Internet-Browser programmiert werden.

Tabelle 4: Verwendete Steuerelemente

Nachdem alle Steuerelemente in die Form eingefügt wurden, beginnt die Programmierung dieser Windows Forms. Wie Abbildung 19 zeigt, besteht jede programmierte Funktion in der Regel aus den vier Programmierteilen:

1. Laden der Benutzeroberfläche
2. Laden benötigter Daten
3. Eingabe und/oder Manipulation von Daten
4. Ausgabe und/oder Speicherung der Daten



Abbildung 19: Aufbau der Funktionen ¹⁴⁷

¹⁴⁷ Eigene Darstellung

1. Laden der Benutzeroberfläche

Benutzeroberflächen sollen den Anwender bei der Benutzung des Tools unterstützen. Daher stehen ihm nur jene Steuerelemente zur Verfügung, die für die aktuelle Anwendung benötigt werden. Diese Steuerungselemente müssen sichtbar an der optimalen Stelle, in der optimalen Größe und mit der richtigen Information dargestellt werden. Weiters ist die Anzeige von passenden Hintergrundbildern und -farben erforderlich. Die folgende Abbildung zeigt die Umsetzung anhand der Programmierung einer PictureBox.

```
'Größe der Form (Me) entspricht dem gesamten Bildschirm
Me.WindowState = FormWindowState.Maximized
'Bearbeitung der Größe (Breite, Höhe) einer PictureBox
PictureBox1.Size = New Size(Me.Width / 750 * 350, Me.Height / 500 * 300)
'Bearbeitung der Position (x,y) der PictureBox
PictureBox1.Location = New Point(500 + (Me.Width - 500 -
PictureBox1.Width) / 2, Me.Height / 500 * 66)
'Die PictureBox soll sichtbar sein.
PictureBox1.Visible = True
'Laden eines Hintergrundbildes für die PictureBox
PictureBox1.BackgroundImage = Image.FromFile(verzeichnis +
"\Bilder\head.jpg")
'Hintergrundfarbe der PictureBox soll weiß sein.
PictureBox1.BackColor = Color.White
```

Abbildung 20: Laden der Benutzeroberfläche ¹⁴⁸

2. Laden benötigter Daten

Im zweiten Programmerteil werden Daten aus Textdokumenten geladen, die in Variablen zwischengespeichert bzw. in Textboxen, Labels, Listboxen oder Listviews ausgegeben werden. Die folgende Abbildung zeigt, am Beispiel des Ladens der verwendeten Tags, den Programmcode für das Laden aus Textdokumenten. Die ersten Zeilen des Codes zeigen, wie Variablen definiert werden. Dies erfolgt mit dem Befehl „Dim Variable As Variablentyp“. Die wichtigsten Variablentypen sind Strings für Texte, Integer für Ganzzahlen, Single für Kommazahlen und Boolean für Wahrheitswerte. Nach der Variablendefinition erfolgt das Lesen der Textdatei. Mit dem Befehl „Split“ wird der eingelesene String bei jedem Auftreten des Trennzeichens in ein Array gespalten. Dieser Schritt erfolgt bei jedem Laden von Daten aus Textdokumenten, da somit viel Information aus einer Datei in eine Variable ausgelesen werden kann. Beispielsweise ist in der unteren Abbildung der erste Wert des Arrays die Anzahl der verwendeten Tags im Projekt. Mit dem Befehl „CInt“ kann ein Text in eine Zahl umgewandelt werden. Dies wird benötigt, da alle Elemente eines Arrays als Text angesehen werden, auch wenn sie Zahlen sind.

¹⁴⁸ Eigene Darstellung

```
'Definition von Variablen
Dim strFilename As String
Dim strValue As String
Dim reader As StreamReader
Dim enc As System.Text.Encoding

'Einzulesende Textdatei und Schriftart der Datei festlegen
strFilename = (verzeichnis + "\Auswertungen\" + txtname.Text +
"\Tags\tags.txt")
strValue = ""
enc = System.Text.Encoding.ASCII

'Lesen der Textdatei, wenn sie existiert und Speichern in der Variable
strValue
If File.Exists(strFilename) Then
    reader = New StreamReader(strFilename, enc)
    While (reader.Peek > -1)
        strValue = strValue & reader.ReadLine
    End While
    reader.Close()
Else
    strValue = "keine Datei gefunden"
End If

'Aufsplitten der eingelesenen Daten mit dem Trennzeichen „;“
liste = strValue.Split(";")

'Auslesen der benötigten Informationen
taganzahl = CInt(liste(0))
```

Abbildung 21: Laden benötigter Daten aus Textdateien ¹⁴⁹

3. Eingabe und/oder Manipulation von Daten

Dieser Schritt unterscheidet sich bei jeder der programmierten Funktionen. Allgemein erfolgt in diesem Programmteil die Verarbeitung der geladenen Daten oder die Eingabe neuer Daten durch den Benutzer. Diese Schritte werden in den folgenden Kapiteln detailliert beschrieben.

4. Ausgabe und/oder Speicherung der Daten

Im letzten Programmteil erfolgt die Ausgabe der Datensätze in Textboxen, Labels, Listboxen oder Listviews. Die folgende Abbildung zeigt das Ausgeben von Transportintensitäten in einer Listview mit fünf Spalten. Dazu werden zuerst alle alten Datensätze aus der Listview gelöscht. Der Array „int“ enthält folgenden Aufbau: Quelle, Senke, Intensität, Netz und Farbe. Daher werden mittels einer For-Schleife mit Schrittweite Fünf die Daten in das Listview Zeile für Zeile eingetragen. Die With-Schleife wird benötigt, um auch SubItems in die Listview einzutragen. VB versteht unter einem Item die erste Spalte und unter SubItems alle weiteren Spalten. Abschließend überprüft eine If-Schleife, ob ein nächster Datensatz auftritt. Ist dies nicht der Fall, wird die For-Schleife mit dem Befehl „Exit For“ abgebrochen.

¹⁴⁹ Eigene Darstellung

```

'Leeren des Listviews
For Each listItem As ListViewItem In lv2.Items
    listItem.Remove()
Next
'Schreiben aller Datensätze
For nn = 0 To int.Length Step 5
    With lv2.Items.Add(int(nn))
        .SubItems.Add(int(nn + 1)) 'Quelle
        .SubItems.Add(int(nn + 2)) 'Senke
        .SubItems.Add(int(nn + 3)) 'Intensität
        .SubItems.Add(int(nn + 4)) 'Farbe
    End With
    'Kontrolle, ob es weitere Elemente zum Schreiben gibt
    If int(nn + 5) = "" Then
        Exit For
    End If
Next

```

Abbildung 22: Ausgabe von Daten in einer Listview ¹⁵⁰

Außerdem dient der abschließende Programmteil zur Speicherung von Datensätzen in Textdateien. Die folgende Abbildung zeigt das Schreiben des Projektnamens in ein Textdokument, das die Namen aller erstellten Projekte beinhaltet. Dies erfolgt in einem ähnlichen Aufbau, wie das Laden von Daten. Zuerst werden Variablen definiert und der Speicherort angegeben. Die Variable „bldAppend“ gibt an, ob die neuen Daten die alten Daten, die bereits in dem Textdokument gespeichert sind, ersetzen (False) oder ergänzen (True) sollen. Nach Auswahl eines Schrifttyps erfolgt der eigentliche Schreibprozess. Das Zeichen „;“ dient als Trennzeichen, um beim Laden zwischen den verschiedenen Projekten unterscheiden zu können.

```

'Variabledefinition
Dim strFilename As String = (verzeichnis + "\Projekte\projekte.txt")
Dim strValue As String = ""
Dim writer As StreamWriter
Dim enc As System.Text.Encoding
'Ergänzen (True) oder Ersetzen (False)
Dim bldAppend As Boolean = True
'Schreiben der Daten in das Textfile
enc = System.Text.Encoding.ASCII
writer = New StreamWriter(strFilename, bldAppend, enc)
strValue = txtname.Text & ";"
writer.Write(strValue)
writer.Close()

```

Abbildung 23: Speicherung von Daten in einem Textdokument ¹⁵¹

Aufbauend auf diese vier grundlegenden Programmierschritte werden verschiedene Funktionen des Auswertungstools programmiert. Die Bezeichnungen dieser Funktionen sowie deren chronologische Reihenfolge bei der Programmierung kann

¹⁵⁰ Eigene Darstellung¹⁵¹ Eigene Darstellung

Abbildung 24 entnommen werden. Die Vorgehensweise bei der Programmierung kann in sechs große Programmierschritte zusammengefasst werden. Dies sind:

1. die Basis-Einstellungen (in Abbildung 24 weiß dargestellt)
2. die Anbindung der SQL-Datenbank (violett)
3. die Aufbereitung der RFID-Daten (blau)
4. die Berechnung von Transportintensitäten und Verweildauern (türkis)
5. die Visualisierung und der Export der Daten (grün)
6. die Repeater-Kontroll-Funktion (grau)

In den folgenden Kapiteln werden diese Programmierschritte sowie besondere Code-Passagen näher erläutert.

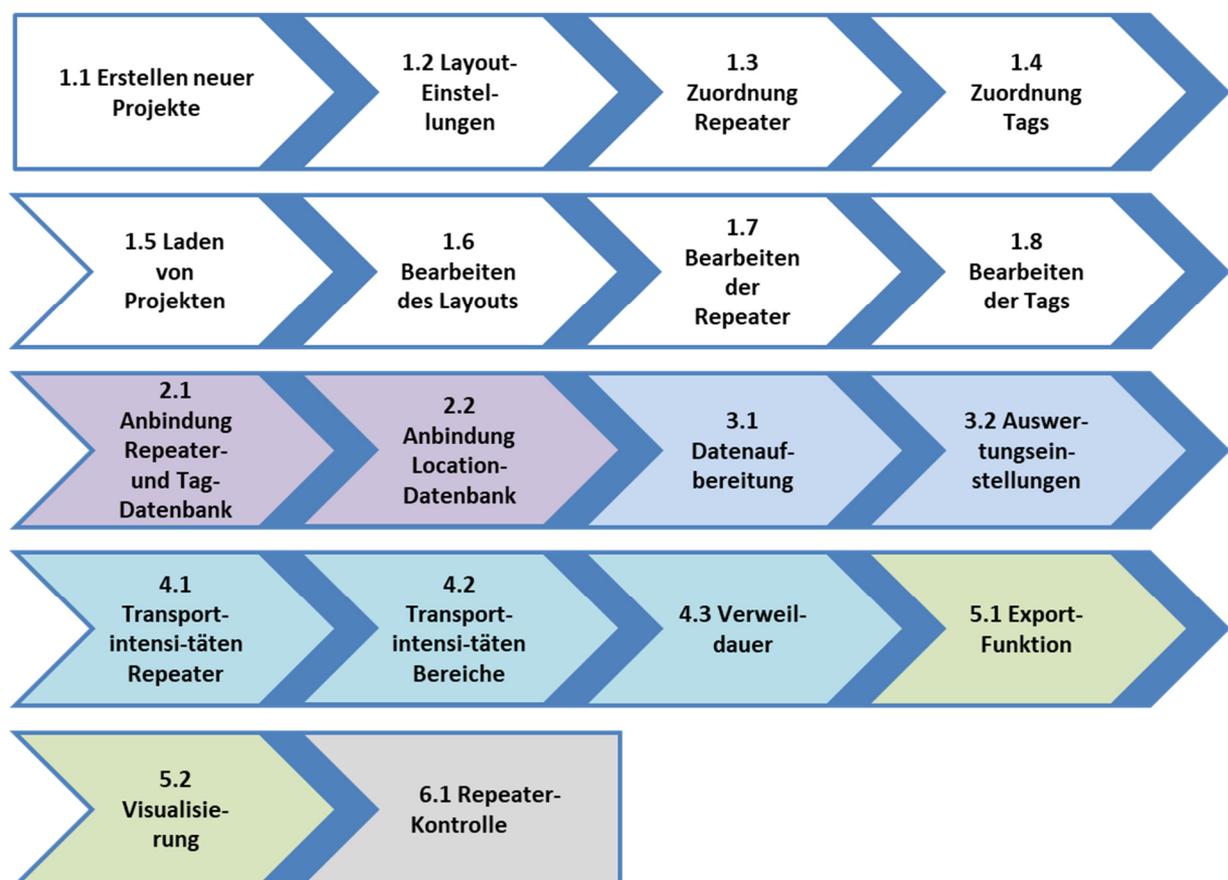


Abbildung 24: Vorgehensweise bei der Programmierung ¹⁵²

4.4.1 Basis-Einstellungen

Der Abschnitt 1.1 der Programmierung der Basis-Einstellungen beinhaltet das Anlegen neuer Projekte inklusive der Erstellung einer einheitlichen Projektstruktur. Dazu werden die Variablen Projektname und Startdatum benötigt. Basierend auf diese Informationen wird für jedes Projekt ein Ordnersystem erstellt. Um Ordner erstellen zu können, muss die Funktion „System.IO“ importiert werden.

¹⁵² Eigene Darstellung

```
Imports System.IO
```

Abbildung 25: Imports System.IO ¹⁵³

Weiters wird eine Variable „verzeichnis“ definiert, die den Dateipfad der Anwendung ausliest. Die Variable „verzeichnis“ wird auch beim Laden von Bildern oder von Textdokumenten eingesetzt.

```
Dim verzeichnis As String
verzeichnis = Path.GetDirectoryName(Application.ExecutablePath)
```

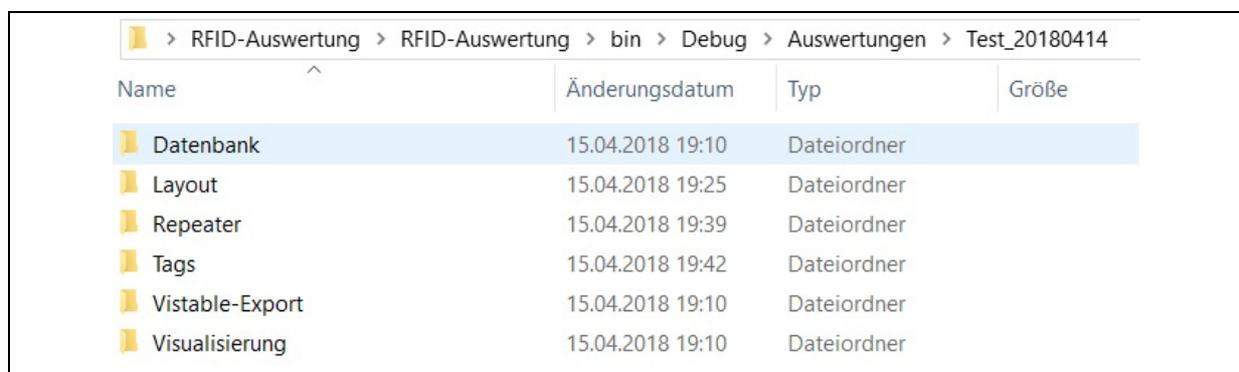
Abbildung 26: Auslesen des Dateipfads ¹⁵⁴

Darauf aufbauend erstellt das Auswertungstool im Anwendungsordner einen Dateiordner namens Auswertungen, falls dieser noch nicht existiert. Darin wird ein Ordner mit dem Projektnamen generiert, in dem in weiterer Folge alle benötigten Informationen gespeichert werden.

```
IO.Directory.CreateDirectory(verzeichnis + "\Auswertungen\" + txtname.Text + "\Tags")
```

Abbildung 27: Erstellen eines Dateiordners ¹⁵⁵

Wie die folgende Abbildung zeigt, werden die Ordner Datenbank, Layout, Repeater, Tag, Vistable-Export und Visualisierung erstellt. Im Ordner Datenbank wird der Startzeitpunkt der Auswertung in einem Textdokument hinterlegt. Im Ordner Vistable-Export werden nach der Auswertung der RFID-Daten CSV-Files erstellt, die direkt in „visTABLE@touch“ eingelesen werden können. Echtzeit-Visualisierungen des Auswertungstools können im Dateiordner Visualisierung wieder aufgerufen werden.



Name	Änderungsdatum	Typ	Größe
Datenbank	15.04.2018 19:10	Dateiordner	
Layout	15.04.2018 19:25	Dateiordner	
Repeater	15.04.2018 19:39	Dateiordner	
Tags	15.04.2018 19:42	Dateiordner	
Vistable-Export	15.04.2018 19:10	Dateiordner	
Visualisierung	15.04.2018 19:10	Dateiordner	

Abbildung 28: Ordnersystem eines Projekts ¹⁵⁶

¹⁵³ Eigene Darstellung

¹⁵⁴ Eigene Darstellung

¹⁵⁵ Eigene Darstellung

¹⁵⁶ Eigene Darstellung

Mittels der Phasen 1.2 bis 1.4 der Programmierung werden das Layout sowie die verwendeten Repeater und Tags dem Projekt zugeordnet. Die Programmierung an sich beinhaltet drei der vier Programmierschritte, die bereits erläutert wurden. Das Laden von Daten ist nicht Teil dieser Funktionen, da noch keine Daten hinterlegt wurden.

Die eingegebenen Informationen über Layout, Repeater und Tags werden in Textdokumenten im jeweiligen Dateordner gespeichert. Für jeden Repeater und Tag hinterlegt die Programmierung Zusatzinformationen, wie beispielsweise die Lage des Repeaters im Layout oder die Farbe der Visualisierung des Tags.

In den Abschnitten 1.5 bis 1.8 werden Funktionen geschrieben, die das Laden von bestehenden Projekten betrifft. Somit wird ermöglicht, dass bereits angelegte Konfigurationen erneut ausgewertet werden können. Außerdem können mittels Bearbeitungsfunktion das Layout, die Repeater und die Tags überarbeitet werden, falls Änderungen nötig werden.

4.4.2 Anbindung der SQL- Datenbank

Durch die Anbindung der Datenbank mittels SQL-Abfragen lädt das Auswertungstool Repeater und Tags direkt aus den jeweiligen Tabellen der Datenbank. Die IDs der Repeater und Tags werden in Eingabefeldern ausgelesen. Dadurch muss nur noch ausgewählt werden, welche Komponenten bei der temporären RFID-Trackinglösung eingesetzt, sowie diesen Komponenten Zusatzinformationen zugewiesen werden. Somit können Tippfehler des Benutzers vermieden werden, die das Auswertungsergebnis verfälschen würden. In der folgenden Abbildung sind die benötigten Importfunktionen für die Anbindung von SQL-Datenbanken angegeben.

```
Imports MySql.Data.MySqlClient
Imports MySql.Data
```

Abbildung 29: Importfunktionen für SQL-Abfragen ¹⁵⁷

Weiters dienen SQL-Abfragen zum Laden der generierten Datensätze der RFID-Trackinglösung aus der Datenbank. Abbildung 30 zeigt, wie diese Daten aus der Tabelle „location“ in das Auswertungstool übertragen werden. Mit dem gleichen Schema werden die Daten der Repeater und Tags eingelesen.

Zuerst wird die Verbindung zur Datenbank durch die Angabe des Servers, des Ports, der User-ID, des Passworts und des Datenbank-Namens aufgebaut. Die folgende Select-Abfrage liest die Daten ein. Mit Where-Bedingungen kann dieser Vorgang beschränkt werden. In diesem Fall wird nach der Tag-ID, der Startzeit der

¹⁵⁷ Eigene Darstellung

Auswertung und der Empfangsstärke gefiltert. Außerdem werden die Daten nach dem Datum und der Uhrzeit sortiert. Mittes „LIMIT“ wird eine maximale Anzahl an neuer Datensätze festgelegt, um die Verarbeitungszeit zu begrenzen.

Der eigentliche Lesevorgang erfolgt mittels einer While-Schleife, die solange durchlaufen wird, bis das Abbruchkriterium („dreader.Read“) eintritt. Da die RFID-Komponenten in einer anderen Zeitzone Daten aufzeichnen, muss diese noch korrigiert werden. Während der Winterzeit muss eine und während der Sommerzeit müssen zwei Stunden addiert werden. Das Datum mit der korrigierten Uhrzeit, die Antennen-ID, die Repeater-ID, die Tag-ID und die Empfangsstärke werden in eine Variable namens „locdb“ zwischengespeichert. In diesem Array sind somit die Rohdaten der RFID-Trackinglösung gespeichert.

```
'Verbindung zur Datenbank
con.ConnectionString =
"server=127.0.0.1;Port=1234;uid=roof;pwd=Josh;database=Akten;"
cmd.Connection = con

'SELECT-Abfrage
cmd.CommandText = "SELECT * FROM location WHERE ( TagID = " & tagstr & " )
AND ( DateTime >= " & datumstr & " ) AND ( FieldStrength > " & qmin & " )
ORDER BY DateTime LIMIT " & num / 5 & ", " & dup & ";"

'Lesevorgang und Speicherung der Daten in der Variable locdb
con.Open()
dreader = cmd.ExecuteReader
Do While dreader.Read
    datestr = dreader("DateTime")
    Dim datedate As DateTime = Convert.ToDateTime(datestr)
    Dim date2h As DateTime = datedate + zweistunden
    locdb(num) = CStr(date2h)
    locdb(num + 1) = dreader("ReceiverID")
    locdb(num + 2) = dreader("RepeaterID")
    locdb(num + 3) = dreader("TagID")
    locdb(num + 4) = dreader("FieldStrength")
    num = num + 5
Loop
con.Close()
```

Abbildung 30: Anbindung der SQL-Datenbank ¹⁵⁸

4.4.3 Aufbereitung der RFID-Daten

Da die gespeicherten Rohdaten Fehlmessungen enthalten, die zur Verfälschung des Auswertungsergebnisses führen, muss ein Algorithmus entwickelt werden, der Fehlmessungen projektunabhängig erkennt und löscht. Folgende Fehlerquellen wurden identifiziert:

¹⁵⁸ Eigene Darstellung

- Erkennung des Tags an verschiedenen Repeatern bei gleichem Zeitstempel
- Identifikation des Tags innerhalb weniger Zehntelsekunden an verschiedenen Repeatern, obwohl die Distanz zwischen den Repeatern nicht in der gemessenen Zeit zurückgelegt werden kann
- Schwankung bei der Tag-Erkennung innerhalb weniger Sekunden, indem der Tag zuerst an Repeater A, danach an Repeater B und abschließend wieder bei Repeater A erkannt wird
- Gleichzeitige Identifikation eines Repeaters bei verschiedenen Netzwerkantennen, das zur Vervielfachung von Datensätzen führt
- Datenaufzeichnung über Wochenenden oder anderen betriebsfreien Tagen, da Fahrzeuge direkt vor Repeatern abgestellt werden und somit die Datenbank mit unbrauchbaren Datensätzen befüllen

Um für jede Auswertung optimale Auswertungsergebnisse zu erhalten, werden Auswertungsparameter programmiert, die individuell für jedes Projekt geändert werden können. Die folgende Abbildung zeigt diese Parameter, die auch teilweise für das Einlesen der Datensätze mittels der Select-Abfrage herangezogen werden.

```
'Intervall, in dem 2 verschiedene Repeatern nicht erreicht werden können
dt = CInt(e11liste(1))
'Intervall, in dem A-B-A nicht erreicht werden kann
dt2 = CInt(e21liste(1))
'Grenzwert für der Empfangsstärke
qmin = CInt(e31liste(1))
'Aktualisierungsintervall des Auswertungstools
timercount = CInt(e41liste(1))
'Maximale Anzahl an Datensätze pro Aktualisierung
dup = CStr(e51liste(1))
'Ausschluss von Wochenenden, Feiertagen, ...
Try
    wo1 = Convert.ToDateTime(e141liste(1)) 'Startzeitpunkt 1
    wo2 = Convert.ToDateTime(e141liste(2)) 'Endzeitpunkt 1
    wo3 = Convert.ToDateTime(e141liste(3)) 'Startzeitpunkt 2
    wo4 = Convert.ToDateTime(e141liste(4)) 'Endzeitpunkt 2
    wo5 = Convert.ToDateTime(e141liste(5)) 'Startzeitpunkt 3
    wo6 = Convert.ToDateTime(e141liste(6)) 'Endzeitpunkt 3
    wo7 = Convert.ToDateTime(e141liste(7)) 'Startzeitpunkt 4
    wo8 = Convert.ToDateTime(e141liste(8)) 'Endzeitpunkt 4
Catch ex As Exception
End Try
```

Abbildung 31: Parameter für Datenaufbereitung ¹⁵⁹

Aufbauend auf die potentiellen Fehlerquellen und den definierten Parameter wurden folgende Algorithmen programmiert, die nach Ablauf von jedem Aktualisierungsintervall des Auswertungstools auf die neu generierten Datensätze angewendet werden:

¹⁵⁹ Eigene Darstellung

- Weisen zwei Datensätze denselben RFID-Tag und Zeitstempel, aber verschiedene Repeater auf, wird jener Datensatz gelöscht, der die geringere Empfangsstärke besitzt.
- Unterscheiden sich zwei aufeinanderfolgende Zeitstempel mit demselben RFID-Tag und verschiedenen Repeatern um weniger als die Variable „dt“, wird der Datensatz mit der geringeren Empfangsstärke gelöscht.
- Wird ein Tag an drei aufeinanderfolgenden Datensätzen in der Reihenfolge Repeater A, Repeater B und Repeater A erkannt und ist die Differenz der Zeitstempel des ersten und des dritten Datensatzes kleiner als die Variable „dt2“, wird der Datensatz mit Repeater B gelöscht. Dies kann damit begründet werden, da es dem Fahrzeug innerhalb dieses Intervalls nicht möglich ist, diese Transportroute auszuführen.
- Weisen zwei Datensätze gleiche Zeitstempel, Tag-ID, Repeater-ID und Empfangsqualität, aber unterschiedliche Antennen auf, wird jener Datensatz gelöscht, der eine höhere Antennen-ID enthält.
- Weiters können in den Einstellungen vier Zeiträume festgelegt werden, die bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden sollen. Normalerweise wird diese Funktion für Wochenenden oder Feiertage verwendet, da hier keine brauchbaren Datensätze generiert werden.

Die folgende Abbildung zeigt den Programmcode für die gesamte Datenaufbereitung eines Tags.

```
For jj = nml To locdb1.Length - 5 Step 5

    'Wochenende bereinigen

    If (e14liste(0) = "4" And ((Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) > wo1 And
        Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) < wo2) Or
        ...
        (Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) > wo7 And
        Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) < wo8))) Or
        (e14liste(0) = "3" And ((Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) > wo1 And
        Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) < wo2) Or
        ...
        (Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) > wo5 And
        Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) < wo6))) Or
        (e14liste(0) = "2" And ((Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) > wo1 And
        Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) < wo2) Or
        (Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) > wo3 And
        Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) < wo4))) Or
        (e14liste(0) = "1" And ((Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) > wo1 And
        Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) < wo2))) Then
        n1 = n1 - 5
        For kk = jj To locdb1.Length Step 5
            Bereinigung(ii, kk)
        Next
        jj = jj - 5
    End If
```

```

'mehrere Antennen bei gleichem Zeitstempel

If (locdb1(jj) = locdb1(jj + 5) And CInt(locdb1(jj + 1)) <>
  CInt(locdb1(jj + 6)) And locdb1(jj + 2) = locdb1(jj + 7) And
  locdb1(jj + 3) = locdb1(jj + 8) And locdb1(jj + 4) =
  locdb1(jj + 9)) Or (locdb1(jj) = locdb1(jj - 5) And
  CInt(locdb1(jj + 1)) <> CInt(locdb1(jj - 4)) And locdb1(jj + 2) <
  locdb1(jj - 3) And locdb1(jj + 3) = locdb1(jj - 2) And
  locdb1(jj + 4) = locdb1(jj - 1)) Then
  n1 = n1 - 5
  For kk = jj To locdb1.Length Step 5
    Bereinigung(ii, kk)
  Next
  jj = jj - 5
End If

'gleicher Zeitstempel und verschiedene Repeater

If (locdb1(jj) = locdb1(jj + 5) And locdb1(jj + 2) <> locdb1(jj + 7)
  And CInt(locdb1(jj + 4)) < CInt(locdb1(jj + 9))) Or (locdb1(jj) =
  locdb1(jj - 5) And locdb1(jj + 2) <> locdb1(jj - 3) And
  CInt(locdb1(jj + 4)) < CInt(locdb1(jj - 1))) Then
  n1 = n1 - 5
  For kk = jj To locdb1.Length Step 5
    Bereinigung(ii, kk)
  Next
  jj = jj - 5
End If

'Abbruch falls jj+5 nicht existiert

If locdb1(jj + 5) = "" Then
  Exit For
End If

'Unterschied zwischen Zeitstempeln kleiner gleich dt

If (locdb1(jj + 2) <> locdb1(jj + 7) And CInt(locdb1(jj + 4)) <
  CInt(locdb1(jj + 9))) Or (locdb1(jj + 2) <> locdb1(jj - 3) And
  CInt(locdb1(jj + 4)) < CInt(locdb1(jj - 1))) Then
  Dim zeitdiff1 As Integer = (Convert.ToDateTime(locdb1(jj + 5)) -
  Convert.ToDateTime(locdb1(jj))).TotalSeconds
  Dim zeitdiff2 As Integer = (Convert.ToDateTime(locdb1(jj)) -
  Convert.ToDateTime(locdb1(jj - 5))).TotalSeconds
  If zeitdiff1 <= dt Or zeitdiff2 <= dt Then
    n1 = n1 - 5
    For kk = jj To locdb1.Length Step 5
      Bereinigung(ii, kk)
    Next
    jj = jj - 5
  End If
End If

```

```

'schwankende Repeater Zugehörigkeit

If (locdb1(jj + 2) <> locdb1(jj + 7) Or locdb1(jj + 2) <>
  locdb1(jj - 3)) And locdb1(jj + 7) = locdb1(jj - 3) Then
  Dim zeitdiff As Integer = (Convert.ToDateTime(locdb1(jj + 5)) -
    Convert.ToDateTime(locdb1(jj - 5))).TotalSeconds
  If zeitdiff <= dt2 And CInt(locdb1(jj + 4)) < schwankendgrenz Then
    n1 = n1 - 5
    For kk = jj To locdb1.Length Step 5
      Bereinigung(ii, kk)
    Next
    jj = jj - 5
  End If
End If
Next

```

Abbildung 32: Aufbereitung der RFID-Daten eines Tags ¹⁶⁰

4.4.4 Berechnung von Transportintensitäten und Verweildauern

Nach der Bereinigung der Daten erfolgt die laufende Berechnung von Transportintensitäten, die für jeden RFID-Tag einzeln berechnet und abschließend aufsummiert werden. Dazu wurde für jeden RFID-Tag eine Variable erstellt, die aus Quelle, Senke, Intensität, Tag-ID und Tag-Farbe besteht. Stimmen bei zwei aufeinanderfolgenden Datensätzen die Repeater-Quelle, die Repeater-Senke und die Tag-ID überein, wird die dazugehörige Intensität um Eins erhöht. Die folgende Abbildung zeigt die Programmierung dazu.

```

For ii = n1 To n1 - 10 Step 5
  If locdb1(ii) <> locdb1(ii + 5) Then
    For jj = 0 To int1.Length - 1 Step 5
      If locdb1(ii) = int1(jj) And locdb1(ii + 5) = int1(jj + 1) Then
        int1(jj + 2) = CInt(int1(jj + 2)) + 1
      End If
    Next
  End If
  If locdb1(ii + 5) = "" Then
    Exit For
  End If
Next

```

Abbildung 33: Berechnung der Transportintensitäten eines Tags ¹⁶¹

Transportintensitäten werden aber nicht nur auf Repeater-Ebene, sondern auch auf Bereichs-Ebene ermittelt. Dazu wird bei den Basis-Einstellungen jedem Repeater ein in den Layout-Einstellungen erstellter Bereich im Betrieb zugewiesen. Dadurch wird ermöglicht, dass Transportintensitäten zwischen verschiedenen Abteilungen ermittelt werden, beispielsweise Rohstofflager zu Produktion oder Fertigwarenlager zu Warenausgang. Transporte innerhalb der Abteilungen werden nicht berücksichtigt.

¹⁶⁰ Eigene Darstellung¹⁶¹ Eigene Darstellung

Basierend auf die bereinigten Daten wird eine Funktion programmiert, die die geglättete Verweildauer an Repeatern berechnet. Dazu wird für jeden RFID-Tag eine Variable mit den Repeater-IDs, den dazugehörigen gemittelten Verweildauern und der Anzahl der Aufenthalte bei diesem Repeater erstellt. Die bereinigten Datensätze werden nach der Tag-ID und der Repeater-ID durchsucht. Tritt eine andere Repeater-ID auf, wird der Zeitstempel des vorigen Datensatzes als Endzeit festgelegt. Falls die Zeitdifferenz zwischen Startpunkt und Endpunkt innerhalb eines Zeitintervalls liegt, wird diese Zeitspanne in die Berechnung der Verweildauer einbezogen.

Das definierte Zeitintervall ist abhängig vom Zugriffstyp, der dem Repeater bei den Basis-Einstellungen zugeordnet wird. Mittels Parameter-Einstellungen kann jedem Zugriffstyp das optimale Zeitintervall für die aktuelle Auswertung zugeordnet werden. Aufgrund dieser Methode werden Ausreißer nicht in die Berechnung der Verweildauer einbezogen. So wird beim Zugriffstyp „Abholbahnhof“ das Vorbeifahren eines Fahrzeuges nicht in die Berechnung einbezogen. Der Zugriffstyp „Gate“ berücksichtigt nur vorbeifahrende Fahrzeuge.

```

Dim startzeit, endzeit As Integer
Dim startpunkt As String = ""
Dim datumzeit() As String = datumstr.Split(" ")
For ii = 2 To n1 Step 5
    If ii = 2 Then
        startzeit = (Convert.ToDateTime(locdb1(0)) -
            Convert.ToDateTime(datumzeit(1))).TotalSeconds
        startpunkt = locdb1(0)
    Else
        If startpunkt <> locdb1(ii) Then
            repv = startpunkt
            RepeaterToTyp()
            endzeit = (Convert.ToDateTime(locdb1(ii - 7)) -
                Convert.ToDateTime(datumzeit(1))).TotalSeconds
            If endzeit-startzeit >= tmin And endzeit-startzeit <= tmax Then
                For jj = 0 To 3 * repeateranzahl - 1 Step 3
                    If vd1(jj) = startpunkt Then
                        vd1(jj + 1) = (CSng(vd1(jj + 1)) *
                            CInt(vd1(jj + 2)) + endzeit - startzeit) /
                            (CInt(vd1(jj + 2)) + 1)
                        vd1(jj + 2) = CInt(vd1(jj + 2)) + 1
                    End If
                Next
            End If
            startzeit = (Convert.ToDateTime(locdb1(ii - 2)) -
                Convert.ToDateTime(datumzeit(1))).TotalSeconds
            startpunkt = locdb1(ii)
        End If
    End If
Next

```

Abbildung 34: Berechnung der Verweildauer eines RFID-Tags ¹⁶²

¹⁶² Eigene Darstellung

4.4.5 Visualisierung und Export der Daten

Basierend auf der Echtzeit-Berechnung der Transportintensitäten ist eine Funktion zur Echtzeit-Visualisierung der Quelle-Senke-Beziehungen geschaffen worden. Die Visualisierung wird für jeden Tag einzeln und für die Summe aller Transporte auf Repeater- und auf Bereichs-Ebene programmiert. Dazu werden Labels mit den Repeater-IDs bzw. mit den Bereichsnamen gekennzeichnet. Diese Labels dienen als Quellen und Senken. Die Transportbeziehung zwischen einer Quelle und einer Senke zeigt eine Spline-Kurve durch vier Punkte. Der Start- und der Endpunkt ist jeweils die Position des Labels. Die beiden mittleren Punkte werden durch Multiplikation einer Zufallszahl mit der Position der Quelle bzw. der Senke ermittelt. Um Zufallszahlen zu erhalten, muss der Befehl „Randomize()“ verwendet werden, da sonst immer nur die gleichen Zahlen generiert werden. Mittels der Programmierung eines Buttons können neue Zufallszahlen erhalten werden. Weiters wird ein Stift zum Zeichnen der Splines programmiert. Dazu müssen Stiftdicke und Farbe definiert werden. Die maximale Dicke wird der maximalen Transportintensität gleichgesetzt. Alle anderen Dicken werden mittels einer linearen Gleichung berechnet. Die in den Tag-Einstellungen hinterlegte Tag-Farbe wird als Stiftfarbe verwendet. Das Zeichnen der Transportbeziehungen erfolgt mittels des Codes der folgenden Abbildung.

```
Dim stift As New Pen(stiftfarbe, dicke)
Dim startp As New Point(startpx, startpy)
Dim p1 As New Point(p1x, p1y)
Dim p2 As New Point(p2x, p2y)
Dim endp As New Point(endpx, endpy)
Dim bezierpoints As Point() = {startp, p1, p2, endp}
e1.DrawBeziers(stift, bezierpoints)
```

Abbildung 35: Zeichnen eines Splines ¹⁶³

Weiters wird eine „drag and drop“ Funktion für die Quellen- und Senken-Labels realisiert. Damit können die zu Beginn, in einem Kreis angeordneten Labels, in eine gewünschte Lage gebracht werden.

¹⁶³ Eigene Darstellung

```
Private Sub lblv1_MouseDown(ByVal sender As Object, ByVal e As
MouseEventArgs) Handles lblv1.MouseDown
    If e.Button = Windows.Forms.MouseButtons.Left Then
        lblpos = New Point(e.Location)
    End If
End Sub

Private Sub lblv1_MouseMove(ByVal sender As Object, ByVal e As
MouseEventArgs) Handles lblv1.MouseMove
    'Panel verschiebbar
    With lblv1
        .BringToFront()
        'verschoben während linke Maustaste gedrückt wird
        If e.Button = Windows.Forms.MouseButtons.Left Then
            .Location = New Point(.Location + (e.Location - lblpos))
            Exit Sub
        End If
    End With

    For ii = 0 To visu.Length - 1
        If visu(ii) = lblv1.Text Then
            visu(ii + 1) = lblv1.Location.X
            visu(ii + 2) = lblv1.Location.Y
        End If
    Next
    VisualisierungTag()
End Sub
```

Abbildung 36: „drag and drop“ eines Labels ¹⁶⁴

Durch die Programmierung einer Schaltfläche werden Screenshots der Echtzeit-Visualisierung im Projektverzeichnis gespeichert.

Neben der Visualisierung wurde eine Export-Funktion zur Ausgabe aller ermittelten Daten geschaffen. Als Export-Format werden CSV-Files verwendet, da diese für die Anbindung an „visTABLE@touch“ benötigt werden. Exportiert werden:

- die bereinigten RFID-Daten
- die Transportintensitäten von jedem RFID-Tag auf Repeater- und auf Abteilungsbasis
- die summierten Transportintensitäten der Tags
- die Anzahl der Aufenthalte der Tag bei einem Repeater
- die geglättete Verweildauer der Tags an den Repeatern

Dazu werden diese Daten in ein Listview eingetragen, um anschließend aus der Listview in eine CSV-Datei geschrieben zu werden. Die folgende Abbildung zeigt den Export.

¹⁶⁴ Eigene Darstellung

```

strFilename = (verzeichnis + "\Auswertungen\" + txtname.Text + "\Vistable-
Export\" & txtname.Text & "_" & taglist(ii) & "_" & dat & ".csv")

Dim headers = (From ch In lv3.Columns
               Let header = DirectCast(ch, ColumnHeader)
               Select header.Text).ToArray()
Dim items() = (From item In lv3.Items
               Let lvi = DirectCast(item, ListViewItem)
               Select (From subitem In lvi.SubItems
                       Let si = DirectCast(subitem, ListViewItem.ListViewSubItem)
                       Select si.Text).ToArray()).ToArray()
Dim table As String = String.Join(";", headers) & Environment.NewLine
For Each a In items
    table &= String.Join(";", a) & Environment.NewLine
Next
table = table.TrimEnd(CChar(vbCr), CChar(vbLf))
IO.File.WriteAllText(strFilename, table)

```

Abbildung 37: Export eines Listviews in eine CSV-Datei ¹⁶⁵

4.4.6 Repeater-Kontroll-Funktion

Abgeschlossen wird die Programmierung mit einer Webbrowser-basierenden Kontrollfunktion für Repeater. Dazu wird die Sabotage-Funktion des Webservers, in den der Benutzer eingeloggt sein muss, in das Auswertungstool eingebunden. Die Programmierung ruft den „localhost“ auf und betätigt die Sabotage-Funktion. Durch diesen Befehl sendet die Netzwerkantenne ein Signal an die Repeater, auf das die Repeater antworten. Somit kann überprüft werden, welche Repeater aktiv bzw. inaktiv sind. Die folgende Abbildung zeigt die Programmierung dazu.

```

'ruft Akten Webseite auf
WebBrowser2.Navigate("http://localhost/Akten/TouchButtons.php")
'warten bis Webseite fertig geladen ist
Do Until WebBrowser2.ReadyState = WebBrowserReadyState.Complete
    Application.DoEvents()
Loop
'Auswahl aller Elemente auf der Webseite
Dim allelements2 As HtmlElementCollection = WebBrowser2.Document.All
Do Until WebBrowser2.ReadyState = WebBrowserReadyState.Complete
    Application.DoEvents()
Loop
'Klicken auf den angelegten Button, der die Sabotage-Funktion ausführen
For ii = 1 To 75
    For Each webpageelement As HtmlElement In allelements2
        If webpageelement.GetAttribute("id") = "TouchButton_0" Then
            webpageelement.InvokeMember("Click")
        End If
    Next
Next
Next

```

Abbildung 38: Betätigen der Sabotage-Funktion mit dem Auswertungstool ¹⁶⁶¹⁶⁵ Eigene Darstellung¹⁶⁶ Eigene Darstellung

Anschließend werden folgende drei Szenarien untersucht:

- Haben alle Antennen gesendet?
- Haben alle Repeater, die durch das Sabotage-Signal erreicht wurden, das Signal erhalten?
- Haben alle Repeater, die nicht erreicht wurden, innerhalb des letzten Kontrollintervalls Daten gesendet?

Tritt bei einem dieser Fragen eine Fehlermeldung auf, wird dem Benutzer mittels „Microsoft Outlook“ eine Störungsbenachrichtigung gesendet. Diese Nachricht listet die ausgefallenen Komponenten auf und bietet eine Anleitung zur Behebung der aufgetretenen Fehler inklusive Abbildungen, die sich im Anhang ab Seite 102 befinden. Der dazugehörige Programmcode ist der folgenden Abbildung zu entnehmen.

Nachdem die Störungs-E-Mail versendet wurde bzw. wenn keine Fehlermeldungen aufgetreten sind, startet ein Countdown, der nach Ablauf des Zeitintervalls den erneuten Kontrollvorgang auslöst.

```
'Verwendung von Microsoft Outlook zum Senden einer E-Mail
Dim objOutlook As Object
Dim objMail As Object

objOutlook = CreateObject("Outlook.Application")
objMail = objOutlook.CreateItem(0)

With objMail
    .To = sendto(ii - 1)           'maximal 4 Empfänger
    .Subject = "RFID Störung"    'Betreff
    .Body = message              'Fehlermeldung
    .Attachments.Add(attachment) 'fügt Anhang hinzu
    .Send()                      'Sendet die E-Mail automatisch
End With
```

Abbildung 39: Programmierung des Sendens einer E-Mail mittels „Microsoft Outlook“¹⁶⁷

¹⁶⁷ Eigene Darstellung

4.5 Funktionen des Auswertungstools „ToCV“

Dieses Kapitel soll Benutzer bei der Anwendung des entwickelten RFID-Auswertungstools „ToCV“ (Tool for Calculation and Visualisation of Material Flows) unterstützen. Dazu werden alle Funktionen sowie deren Zusammenhänge beschrieben.

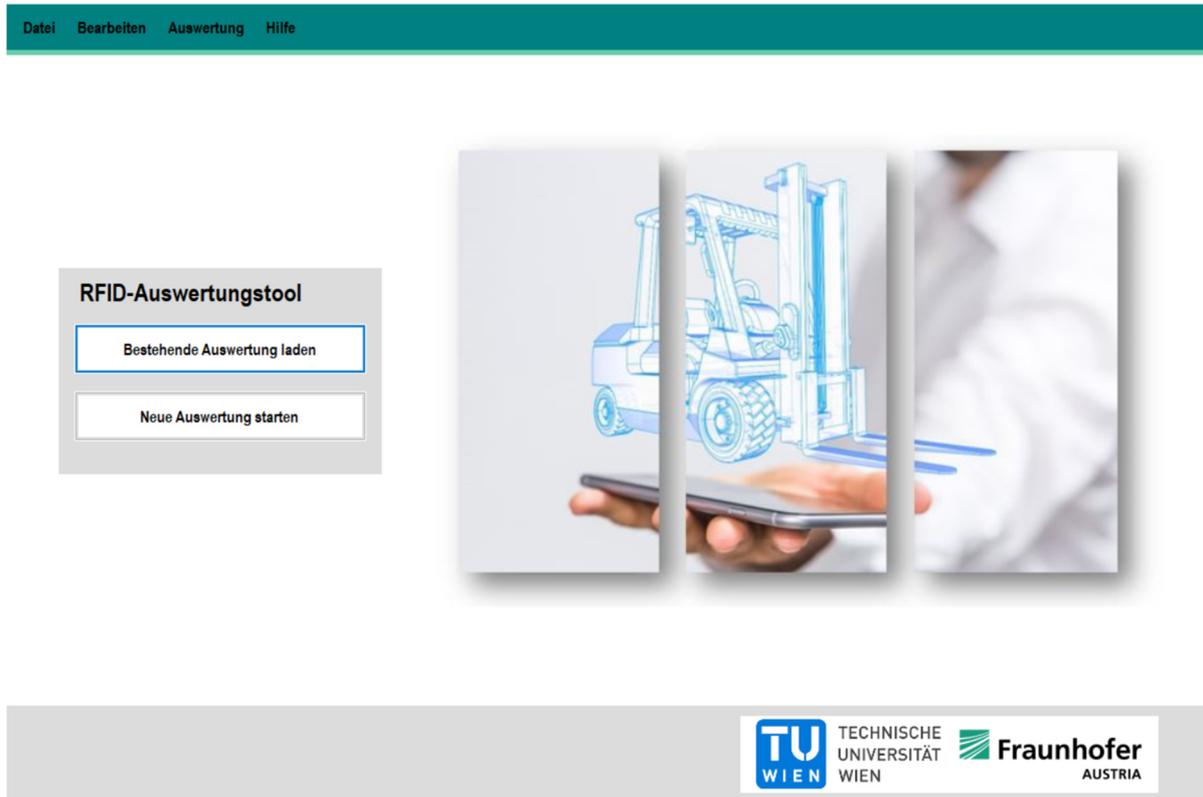


Abbildung 40: Startseite des RFID-Auswertungstools „ToCV“ ¹⁶⁸

4.5.1 Neues Projekt anlegen

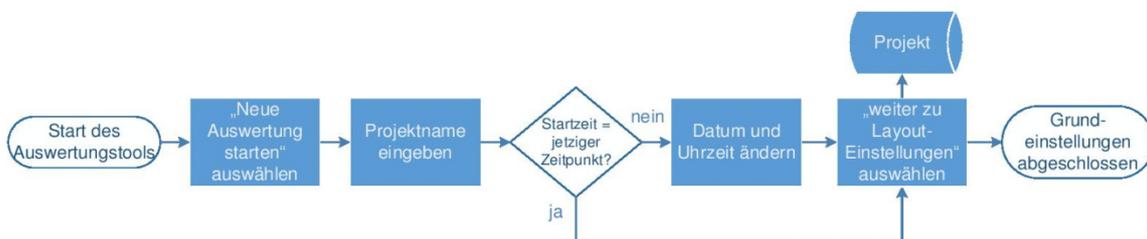


Abbildung 41: Grundeinstellungen ¹⁶⁹

Um ein neues Projekt anzulegen, muss auf der Startseite des Auswertungstools „Neue Auswertung starten“ oder unter dem Menüpunkt „Datei“ der Reiter „Neu“ ausgewählt werden. Daraufhin wird die Eingabemaske aus Abbildung 42 geladen. In

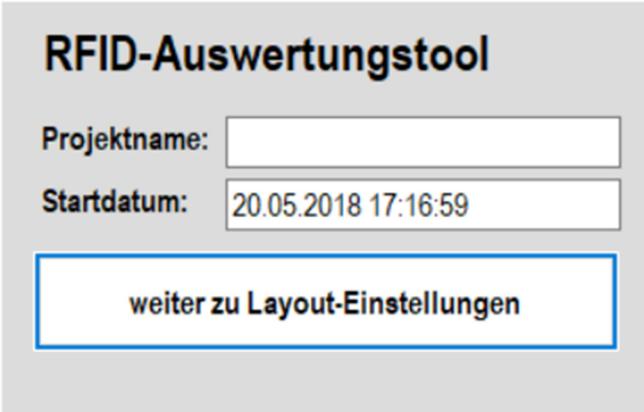
¹⁶⁸ Eigene Darstellung

¹⁶⁹ Eigene Darstellung

diese gibt der Benutzer den Projektnamen und das Startdatum ein. Der Projektname kann beliebig gewählt werden, wobei zu beachten ist, dass Umlaute und Sonderzeichen nicht unterstützt werden. Durch die Eingabe des Projektnamens wird ein Projektverzeichnis erstellt, in das alle benötigten Einstellungen sowie die im Laufe der Auswertung ermittelten Berechnungen gespeichert werden.

In das Eingabefeld Startdatum wird das aktuelle Datum mit Uhrzeit eingelesen. Sollte sich das Startdatum vom aktuellen Datum unterscheiden, kann in dieses Feld ein neuer beliebiger Wert eingetragen werden. Die Tatsache, dass die verwendeten RFID-Komponenten die Datensätze in einer anderen Zeitzone aufzeichnen, wird mittels Programmierung ausgeglichen und muss vom Benutzer nicht berücksichtigt werden. Das benötigte Eingabeformat des Datums lautet: „TT.MM.JJJJ HH:MM:SS“.

Nach der Eingabe des Projektnamens und des Startdatums kann mit „weiter zu Layout-Einstellungen“ die Konfiguration des Auswertungstools fortgesetzt werden.



The image shows a web interface for the 'RFID-Auswertungstool'. At the top, the title 'RFID-Auswertungstool' is displayed in bold black text. Below the title, there are two input fields. The first is labeled 'Projektname:' and is currently empty. The second is labeled 'Startdatum:' and contains the text '20.05.2018 17:16:59'. Below these fields is a large blue button with the text 'weiter zu Layout-Einstellungen' in black.

Abbildung 42: Eingabe des Projektnamens und des Startdatums ¹⁷⁰

¹⁷⁰ Eigene Darstellung

4.5.2 Layout-Einstellungen

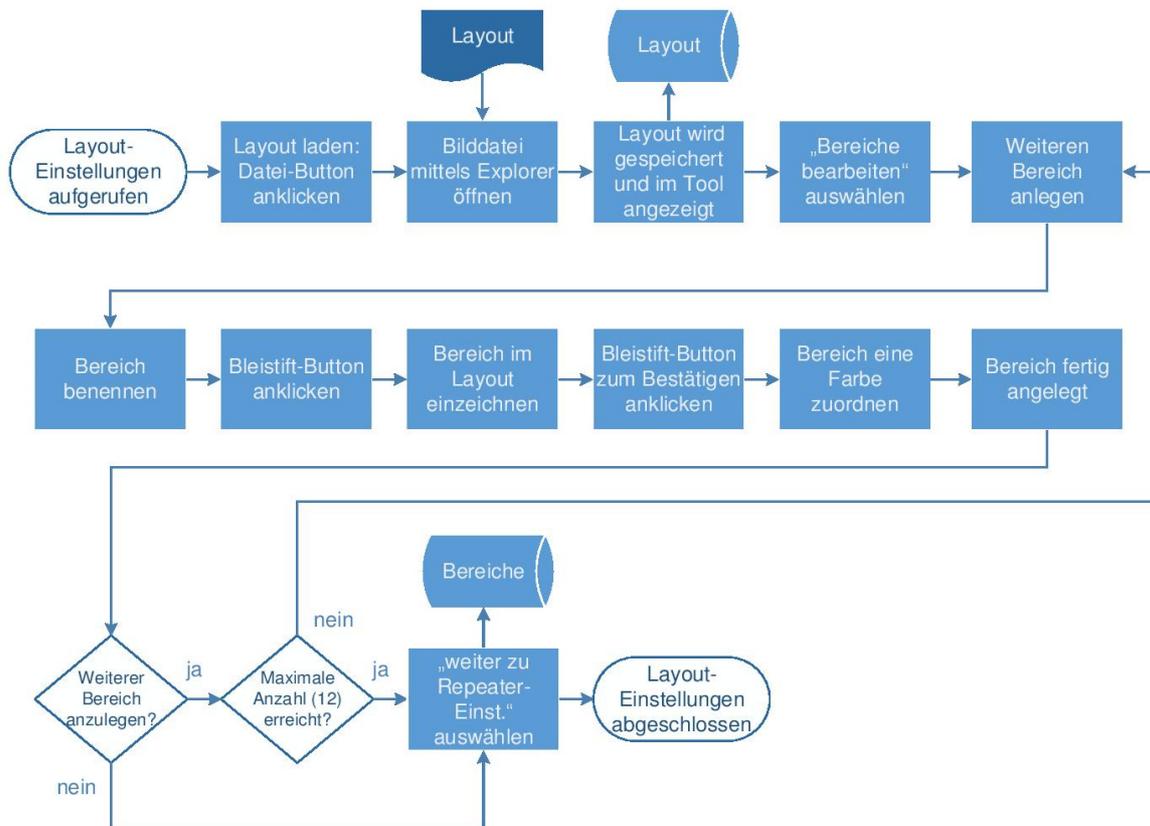


Abbildung 43: Ablaufdiagramm der Layout-Einstellungen ¹⁷¹

Nachdem die Grundeinstellungen abgeschlossen sind, wird die Benutzeroberfläche der Layout-Einstellungen geladen. Zunächst ist ein Layout des Unternehmens in „ToCV“ mittels Auswahl des Datei-Buttons hinzuzufügen. Dadurch öffnet sich der Explorer des PCs und eine Bilddatei des Layouts kann geöffnet werden. Unterstützt werden die Formate „.jpg“, „.gif“ und „.png“. Nach erfolgter Auswahl speichert das Auswertungstool „ToCV“ das Layout im Projektverzeichnis und zeigt es im Auswertungstool an.

¹⁷¹ Eigene Darstellung

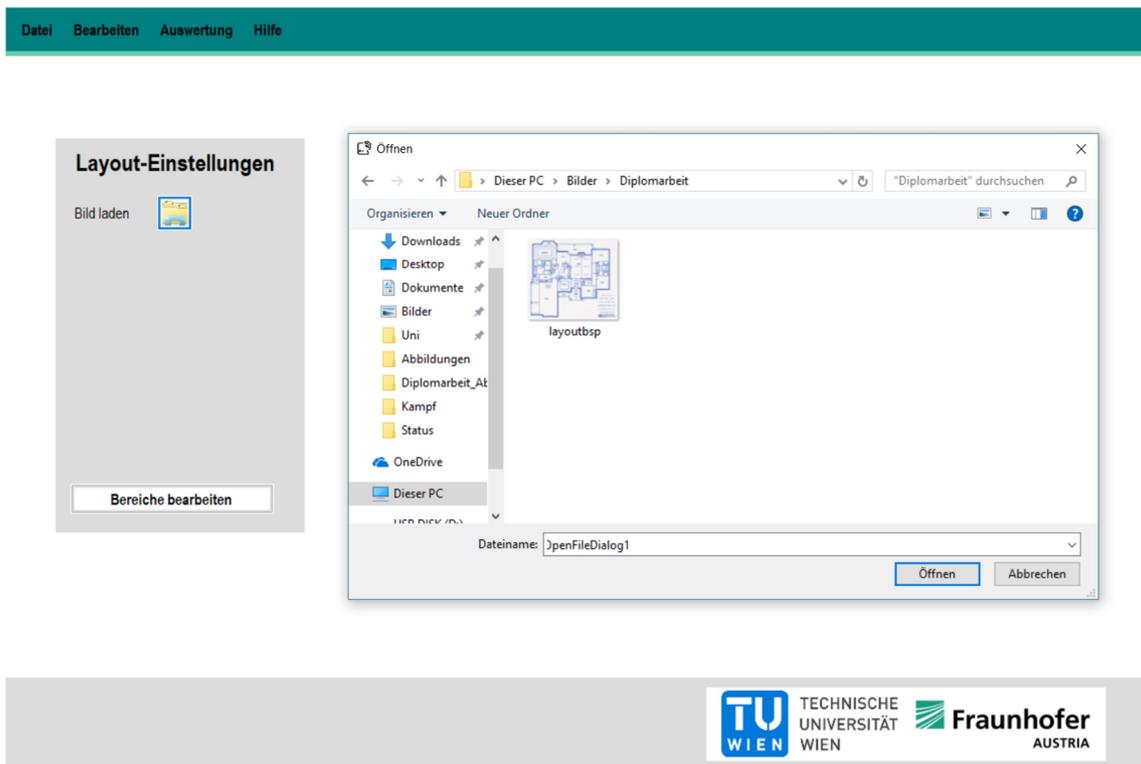


Abbildung 44: Laden eines Layouts ¹⁷²

Durch Klicken des Buttons „Bereiche bearbeiten“ wird eine Oberfläche geladen, in der Abteilungen angelegt und in das geladene Layout eingezeichnet werden können. Diesen Bereichen werden in den folgenden Repeater-Einstellungen Repeater zugeordnet. Im Auswertungsalgorithmus können somit Repeater zu Bereichen zusammengefasst sowie Transportbeziehungen zwischen diesen Bereichen ausgewertet werden.

Zum Anlegen eines Bereichs muss ein „weiteres Element“ ausgewählt werden. Eine neue leere Zeile erscheint. In das Eingabefeld ist die Bezeichnung des Bereichs einzutragen. Durch das Betätigen des Bleistift-Buttons erscheinen drei Zeichenelemente: die linke, obere Ecke, die rechte, untere Ecke sowie ein Berechnungspunkt des Bereichs. Mittels „drag and drop“ können diese Elemente an die gewünschte Stelle im Layout geschoben werden. Durch erneute Auswahl des Bleistift-Buttons werden die Koordinaten des Bereichs gespeichert. Abgeschlossen wird das Anlegen eines neuen Bereichs durch Zuordnung einer Farbe. War die Eingabe aller Daten erfolgreich, wird die Abteilung im Layout mit der gewählten Farbe eingezeichnet.

Mit diesen Schritten können bis zu zwölf Bereiche erstellt werden. Wenn mehrere Bereiche angelegt werden, ist zu beachten, dass erst wenn eine Zeile vollständig ausgefüllt wurde, die nächste erstellt werden kann. Mittels „weiter zu Repeater-Einstellungen“ schließt der Benutzer die Layout-Einstellungen ab. Sind nachträglich

¹⁷² Eigene Darstellung

Änderungen erforderlich, können diese unter „Bearbeiten“ und „Layout“ erfolgen. Adaptierungen werden erst nach einem Neustart der Auswertung geladen.

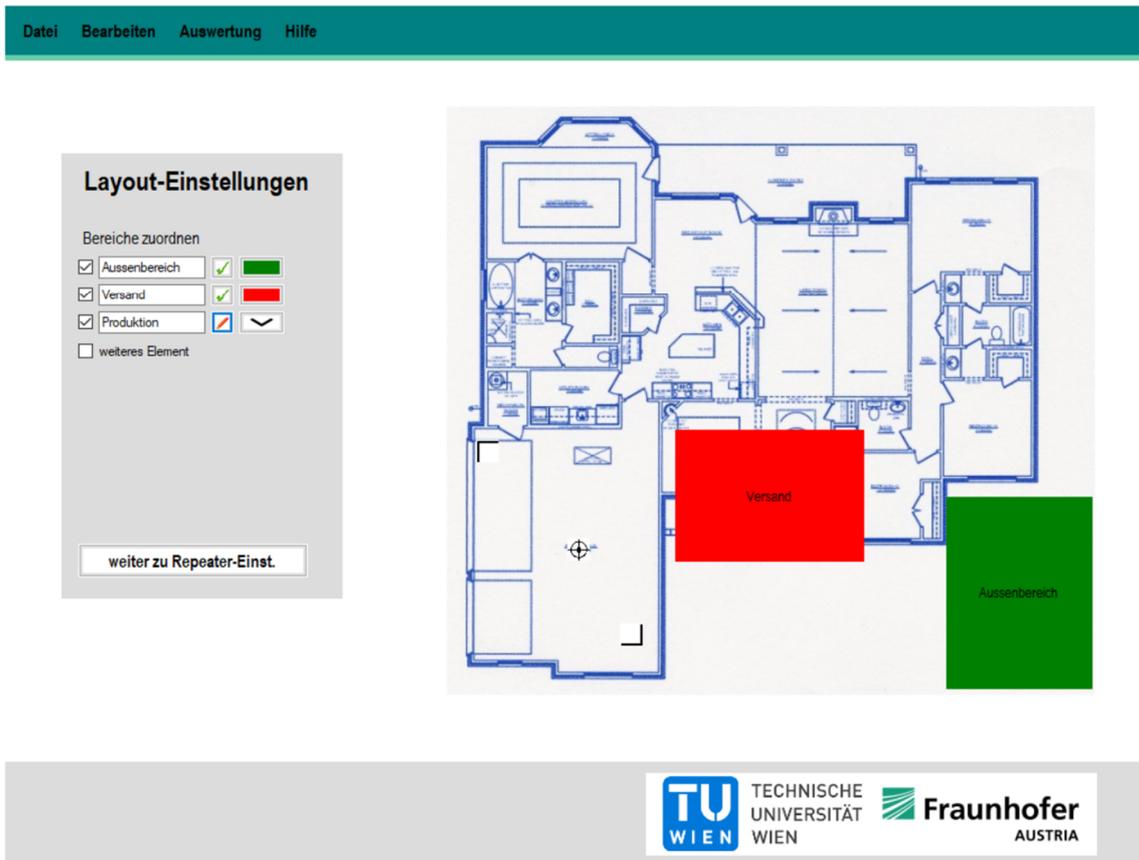


Abbildung 45: Zuordnung von Bereichen ¹⁷³

¹⁷³ Eigene Darstellung

4.5.3 Repeater-Einstellungen

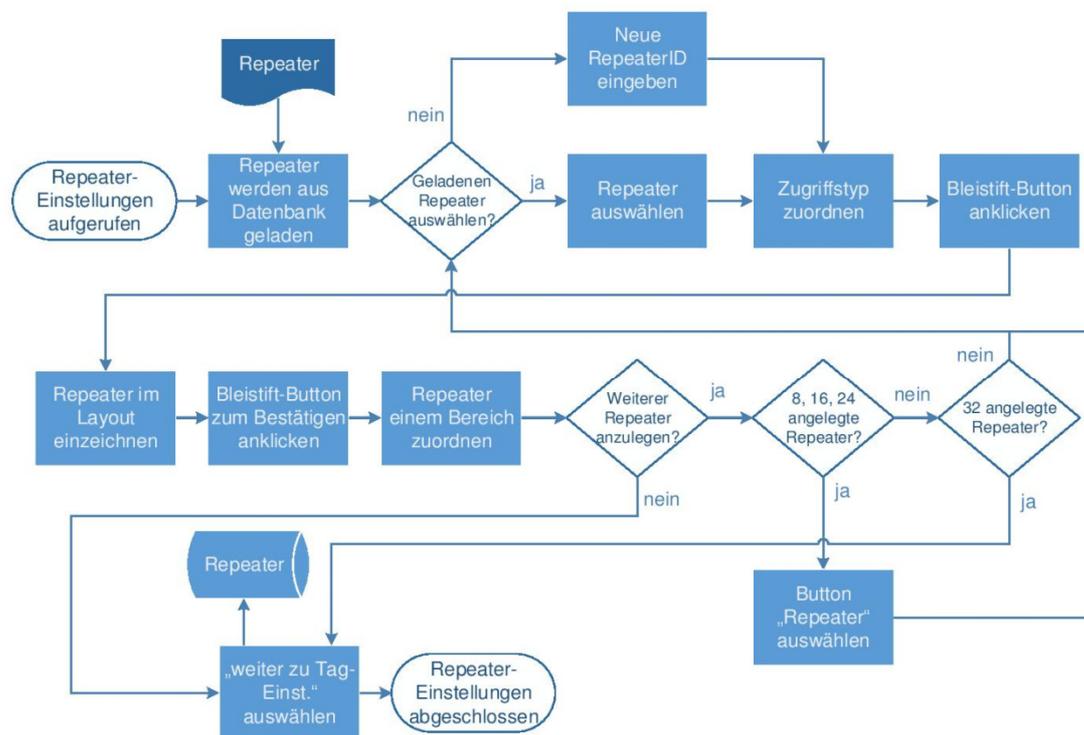


Abbildung 46: Ablaufdiagramm zu den Repeater-Einstellungen ¹⁷⁴

Bei den Repeater-Einstellungen werden jene Repeater definiert, die bei der Auswertung betrachtet werden sollen. Dazu lädt das Auswertungstool „ToCV“ alle in der SQL-Datenbank gespeicherten Repeater und liest sie in den Eingabefeldern aus. Sollte eine gewünschte Repeater-ID nicht in das Auswertungstool geladen werden bzw. sollte diese ID nicht in der Datenbank angelegt sein, kann durch Überschreiben einer anderen Repeater-ID dieser Repeater ausgewählt werden.

Nach der Auswahl des gewünschten Repeaters muss ihm ein Zugriffstyp zugeordnet werden. Dabei kann zwischen den Typen Abholbahnhof, Direktzugriff, Gate und Außenbereich gewählt werden. Diesen Zugriffstypen sind in der Programmierung ein oberer und unterer Grenzwert für die jeweilige Verweildauer am Repeater hinterlegt. Bei der Berechnung der mittleren Verweildauer werden nur jene Verweildauern herangezogen, die zwischen diesen Grenzwerten liegen. Somit können in der Berechnung Ausreißer bzw. das Vorbeifahren eines Flurförderers ohne Aufenthalt bei einem Repeater geglättet werden. Die definierten Grenzwerte können in den Parameter-Einstellungen für jedes Projekt optimal angepasst werden.

Im nächsten Schritt kann der Repeater im Layout eingezeichnet werden. Dazu ist der Bleistift-Button auszuwählen. Das erscheinende Symbol ist mittels „drag and drop“ an die gewünschte Position zu schieben. Durch Bestätigung des Bleistift-Buttons wird

¹⁷⁴ Eigene Darstellung

die Position des Repeaters gespeichert. Abschließend ist dem Repeater ein Bereich aus dem Untermenü zuzuordnen. Dadurch wird die Berechnung der Transportintensitäten auf Bereichsebene, wie im vorigen Kapitel beschrieben, ermöglicht. Durch Auswahl des Bereichs wird der Repeater mit der definierten Farbe des Bereichs ins Layout eingezeichnet.

Diese Schritte sind für alle weiteren Repeater durchzuführen. Zu beachten ist, dass erst wenn eine Zeile vollständig ausgefüllt wurde, mit der nächsten Zeile begonnen werden darf. Auf einer Seite der Repeater-Einstellungen können acht Repeater angelegt werden. Wenn mehr als acht Repeater angelegt werden sollen, kann mittels Auswahl der Schaltfläche „Repeater“ die nächste Seite mit acht weiteren Repeatern aufgerufen werden. Maximal können 32 Repeater für eine Auswertung herangezogen werden. Nachdem alle Repeater angelegt wurden, kann mittels „Tags“ mit den Tag-Einstellungen fortgesetzt werden. Sollten nachträglich Adaptierungen notwendig werden, können im Menü unter „Bearbeiten“ und „Repeater“ die Repeater-Einstellungen erneut aufgerufen werden. Durch einen Neustart von „ToCV“ werden die Änderungen übernommen.

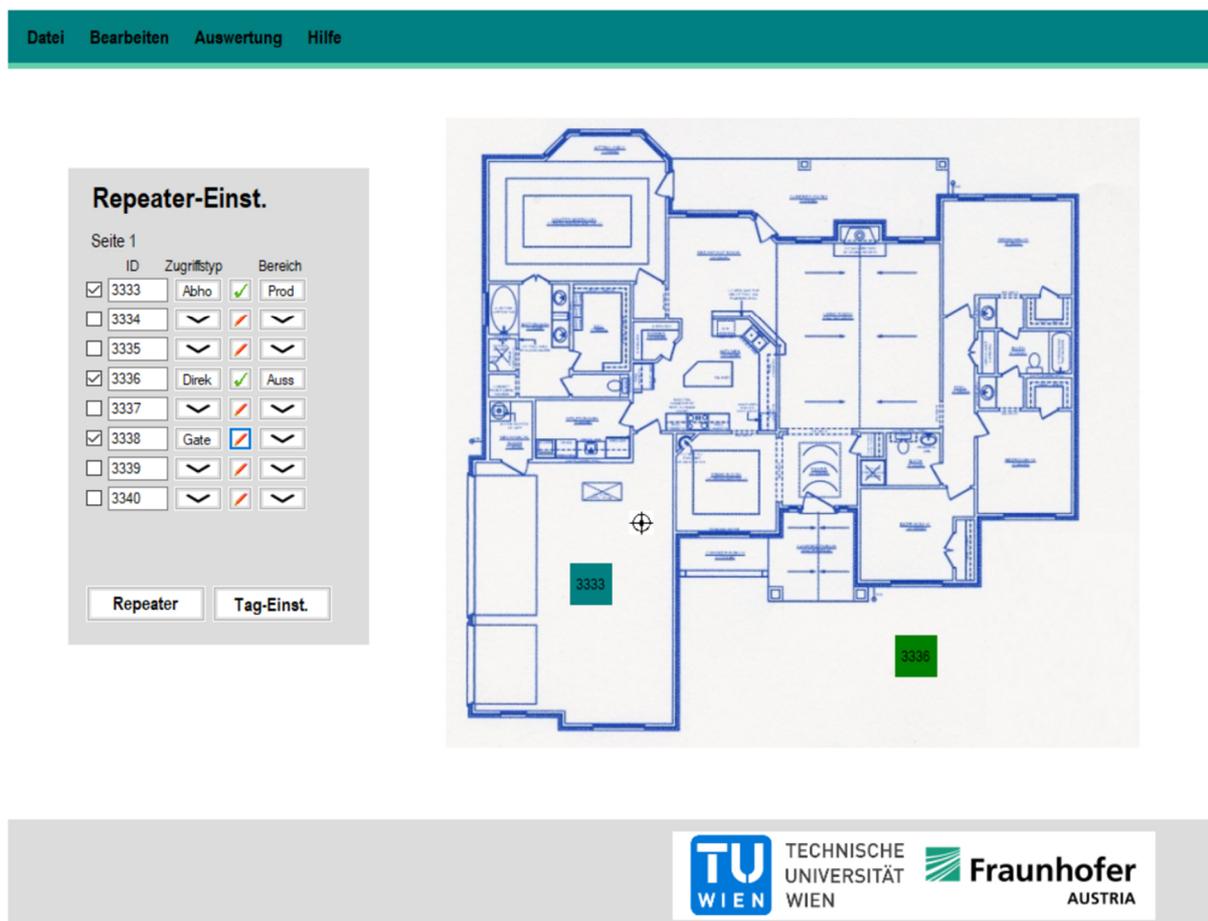


Abbildung 47: Repeater-Einstellungen ¹⁷⁵

¹⁷⁵ Eigene Darstellung

4.5.4 Tag-Einstellungen

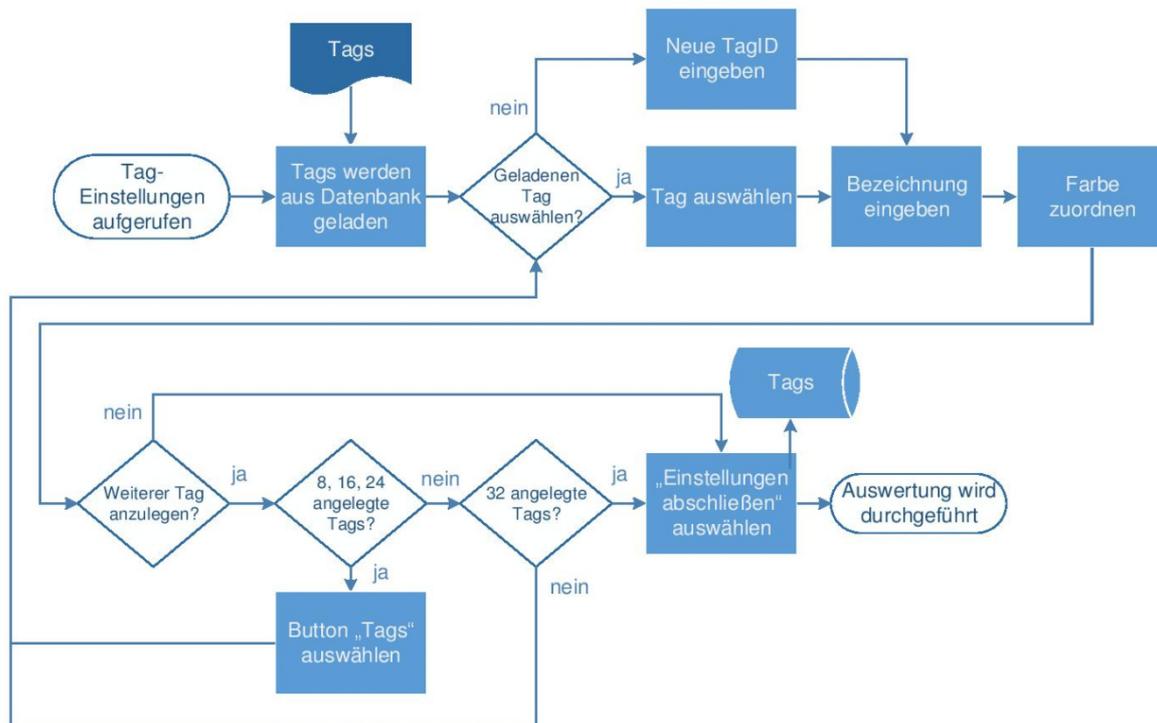


Abbildung 48: Ablaufdiagramm zu den Tag-Einstellungen ¹⁷⁶

Alle angelegten Tags der SQL-Datenbank werden nach Aufruf der Tag-Einstellungen in die Eingabefelder geladen. Soll ein Tag, der nicht angezeigt wird, für die Auswertung verwendet werden, kann dieser durch Überschreiben eines anderen Tags erfolgen. Nach der Auswahl des Tags kann eine Bezeichnung und eine Farbe für die Auswertungsvisualisierung hinzugefügt werden.

Auch hier gilt, dass zuerst eine Zeile vollständig befüllt werden muss, bevor ein anderer Tag bearbeitet wird. Pro Seite der Tag-Einstellungen werden acht Tags angezeigt. Wenn mehr als acht Tags angelegt werden müssen, kann mittels Klicken auf „Tags“ die nächste Seite geladen werden. Die maximale Anzahl bei einer Auswertung beträgt 32 Tags. Nach der Zuordnung aller Tags können mit „Einstellungen abschließen“ die Einstellungen abgeschlossen werden. Sollten Änderung erforderlich werden, können die Tag-Einstellungen über „Bearbeiten“ und „Tags“ erneut bearbeitet werden. Nach den Adaptierungen ist ein Neustart der Auswertung erforderlich, damit die neuen Einstellungen übernommen werden.

¹⁷⁶ Eigene Darstellung

Tag-Einstellungen

Tags erstellen: S.1

	ID	Bezeichnung	Farbe
<input checked="" type="checkbox"/>	2222	Stapler77	
<input type="checkbox"/>	2223		
<input checked="" type="checkbox"/>	2224	FTS3001	
<input checked="" type="checkbox"/>	2225	Stapler02	
<input type="checkbox"/>	2226		
<input type="checkbox"/>	2227		
<input type="checkbox"/>	2228		
<input type="checkbox"/>	2229		

Abbildung 49: Tag-Einstellungen ¹⁷⁷

4.5.5 Bestehendes Projekt laden

Abbildung 50: Laden bestehender Projekte ¹⁷⁸

Bereits bestehende Auswertungen können auf der Startseite über „Bestehende Auswertung laden“ oder im Menü über „Datei“ und „Öffnen“ erneut aufgerufen werden. Das Auswertungstool „ToCV“ listet alle erstellten Auswertungen auf. Durch Auswahl einer dieser Projekte und dem anschließenden Bestätigen mit „Ausgewähltes Element laden“ startet die Auswertung dieses Projekts. Dabei werden alle Einstellungen zu Layout, Repeater und Tags des geladenen Projekts übernommen.

¹⁷⁷ Eigene Darstellung

¹⁷⁸ Eigene Darstellung

Abbildung 51: Laden eines bestehenden Projekts ¹⁷⁹

4.5.6 Auswertung

Wurden die Einstellungen eines neuen Projekts abgeschlossen oder ein bestehendes Projekt geladen, wird die Auswertungsübersicht aus Abbildung 52 geladen. Diese lässt sich in vier Abschnitte unterteilen.

Zeitstempel	Antenne	Repeater	Tag	Qualität
30.03.2018 17:21:38	150	3336	2222	-12
24.02.2018 17:09:39	150	3335	2223	-87
24.02.2018 17:08:46	150	3335	2224	-75
24.02.2018 17:08:06	150	3336	2224	-67
24.02.2018 00:38:38	150	3335	2223	-80
23.02.2018 11:30:02	150	3333	2223	-79
20.02.2018 09:55:41	150	3333	2222	-68
18.02.2018 16:47:57	150	3334	2222	-80
18.02.2018 16:32:08	150	3333	2222	-67
18.02.2018 16:27:13	150	3334	2224	-80
18.02.2018 16:24:06	150	3335	2223	-60
18.02.2018 16:17:36	150	3334	2224	-60
18.02.2018 16:17:32	150	3335	2224	-67
18.02.2018 16:16:04	150	3335	2223	-89
18.02.2018 09:23:07	150	3333	2222	-78
18.02.2018 09:22:20	150	3335	2222	-56
18.02.2018 09:21:34	150	3334	2222	-85
18.02.2018 09:20:39	150	3335	2222	-75
17.02.2018 17:59:53	150	3334	2224	-73
17.02.2018 17:59:49	150	3334	2224	-83
17.02.2018 17:55:49	150	3333	2222	-75
17.02.2018 17:55:45	150	3333	2222	-73
17.02.2018 17:55:41	150	3333	2222	-78
17.02.2018 16:53:24	150	3333	2223	-80
11.03.2018 13:50:05	150	3335	2222	-80
11.03.2018 13:46:05	150	3335	2222	-80
11.03.2018 13:17:26	150	3333	2222	-67
11.03.2018 13:17:02	150	2222	2222	67

Quelle	Senke	Intensität	Netz	Farbe
3333	3335	4	Gesamt	RGB(0,255,0)
3333	3334	2	Gesamt	RGB(0,255,0)
3333	3336	1	Gesamt	RGB(0,255,0)
3334	3335	2	Gesamt	RGB(0,255,0)
3334	3336	1	Gesamt	RGB(0,255,0)
3334	3333	3	Gesamt	RGB(0,255,0)
3335	3336	0	Gesamt	RGB(0,255,0)
3335	3334	3	Gesamt	RGB(0,255,0)
3335	3333	3	Gesamt	RGB(0,255,0)
3336	3335	2	Gesamt	RGB(0,255,0)
3336	3334	1	Gesamt	RGB(0,255,0)
3336	3333	0	Gesamt	RGB(0,255,0)

2222
2223
2224

anzeigen
TagID/Bereich
Timer stoppen
Visualisierung
Verweildauer berechnen
visTABLE @ touch - Export

Abbildung 52: Auswertungsübersicht ¹⁸⁰

In der linken Tabelle werden die letzten hundert bereinigten Datensätze aller Tags in Echtzeit ausgegeben. Dazu werden der Zeitstempel an dem ein Tag bei einem Repeater erkannt wurde, die empfangende Antenne, der Repeater, der Tag sowie die Sendequalität des Tags angezeigt. Sortiert wird diese Tabelle nach dem Zeitstempel.

¹⁷⁹ Eigene Darstellung

¹⁸⁰ Eigene Darstellung

Die in Echtzeit berechneten Transportrelationen werden in der rechten Tabelle ausgegeben. In den ersten beiden Spalten werden die Quelle und Senke der Transportbeziehung eingetragen. Die berechneten Transportintensitäten folgen in der dritten Spalte. Außerdem beinhaltet diese Tabelle das Transportnetz sowie die Visualisierungsfarbe im RGB-Format.

Den dritten Bereich der Übersicht stellen die Anzeigeeoptionen dar. In der Liste werden alle Tags angezeigt, die in der Auswertung betrachtet werden. Durch die Auswahl eines dieser Tags und der Bestätigung mit „anzeigen“ werden nur noch Datensätze des gewählten Tags in den beiden Tabellen angezeigt. Dabei ist anzumerken, dass bei einem ausgewählten Tag die Berechnungsdauer, vor allem bei großen Datenmengen, signifikant ansteigt, da immer alle Datensätze in die jeweiligen Tabellen eingetragen werden und nicht nur die letzten hundert. Diese Funktion soll als Kontrollfunktion der laufenden Auswertung bzw. als Diskussionsgrundlage im laufenden Projekt dienen und sollte nicht dauerhaft betrieben werden. Mit „Auswahl aufheben“ kann erneut auf den Dauerbetrieb, in dem laufend Daten eingelesen werden, umgeschaltet werden.

Mit dem Button „TagID/Bereich“ kann zwischen der Auswertung auf Repeater- und Bereichsebene umgeschaltet werden. Bei der Betriebsart Bereich wird in der linken Tabelle anstelle des Repeater-IDs der Bereich, in dem sich der Repeater befindet, angezeigt. In der rechten Tabelle werden anstelle der Repeater die Bereiche für die Berechnung der Quelle-Senke-Beziehungen herangezogen. Bei der Berechnung dieser Intensitäten werden nur Intensitäten zwischen verschiedenen Bereichen ermittelt. Intensitäten innerhalb eines Bereichs werden nicht berücksichtigt. Die Bereichsebene kann sowohl im Dauerbetrieb, als auch zur Anzeige von einzelnen Tags verwendet werden.

Zum Stoppen des Aktualisierungscountdowns wird der Button „Timer stoppen“ verwendet. Diese Funktion ist bei der Durchsicht der Datensätze während der Datenaufzeichnung sehr hilfreich, da sonst nach jedem Ablauf des Countdowns neue Daten geladen werden. Mit „Timer starten“ kann die Datenaufzeichnung wieder begonnen werden.

Die Berechnung der Verweildauer wird mit Betätigen des Buttons „Verweildauer berechnen“ ausgelöst. Die ermittelten Verweildauern sowie die Anzahl der Aufenthalte der Tags bei den Repeatern werden in einer CSV-Datei im Projektverzeichnis gespeichert. Auf den Export der Datensätze wird im Kapitel 4.5.7 eingegangen.

Mittels des Buttons „Visualisierung“ wird die Echtzeit-Visualisierung der Datensätze aufgerufen. Anstelle der rechten Tabelle und der Anzeigeeoptionen zeigt das Auswertungstool die Quellen und Senken in einem Kreis an. Je nachdem welche

Betriebsebene ausgewählt wurde, werden Bereiche oder Repeater-IDs als Quellen und Senken angeführt. Nach jedem Ablauf des Aktualisierungsintervalls werden die Intensitäten als Verbindungslinien zwischen den Quellen und Senken angezeigt. Je dicker diese Verbindungslinie ist, desto höher ist die Transportintensität. Die Quellen und Senken können mittels „drag and drop“ beliebig verschoben werden. Außerdem werden vier Buttons angezeigt. Mit „Tag auswählen“ kann ein bestimmter Tag zur Visualisierung herangezogen werden. Durch das Klicken auf „neue Parameter“ werden die randomisierten Parameter der Spline-Verbindungslinien neu berechnet. Dies hilft bspw., wenn gegenläufige Quelle-Senken-Beziehungen übereinander liegen. Mit „speichern“ kann die Visualisierung im Projektverzeichnis gespeichert werden. Durch die Auswahl von „schließen“ wird die Visualisierung beendet.

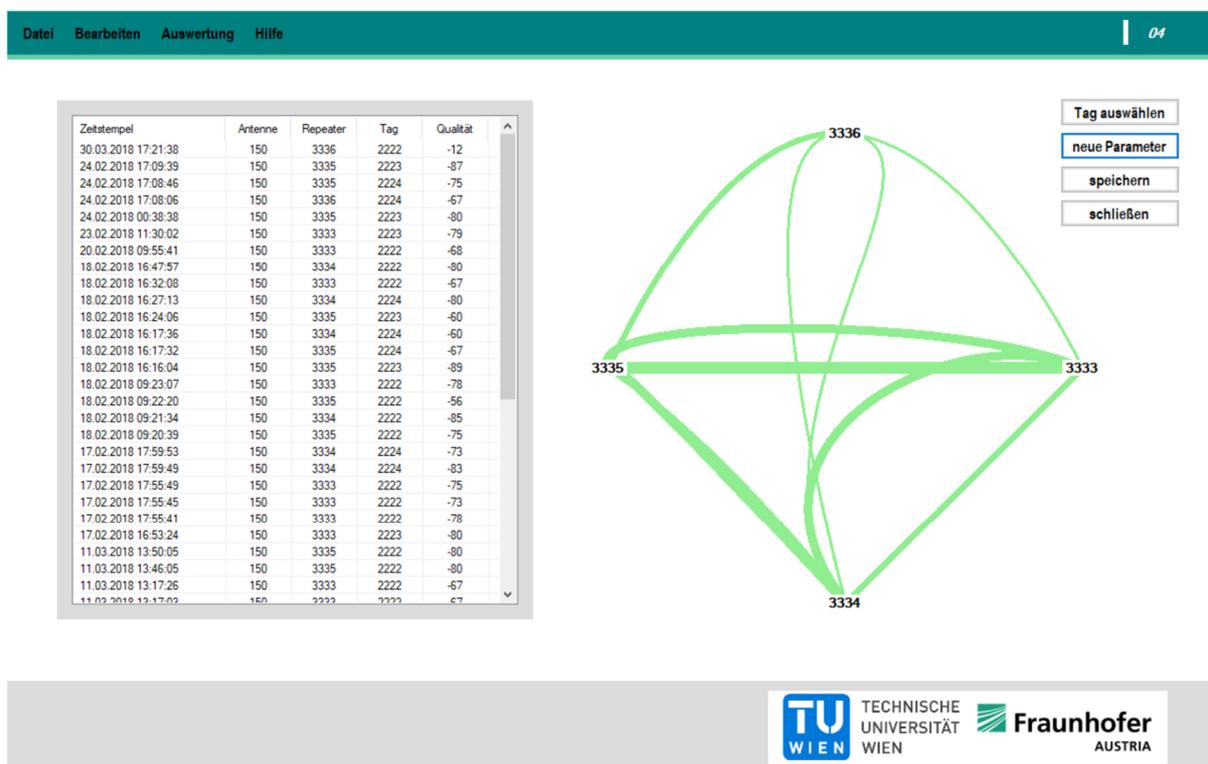


Abbildung 53: Visualisierung der Transportrelationen ¹⁸¹

Der vierte Abschnitt der Auswertungsübersicht spiegelt das Menü wider. Unter „Datei“ kann eine neue Auswertung begonnen werden. Mit „Öffnen“ können bestehende Auswertungen geladen werden. „Löschen“ dient zum Löschen aller angelegten Auswertungen. Zum Schließen des Auswertungstools „ToCV“ dient „Beenden“. Unter „Bearbeiten“ können Layout-, Repeater- und Tag-Einstellungen vorgenommen werden. Im Reiter „Auswertung“ kann das Repeater-Kontrollsystem gestartet werden. Außerdem können hier Auswertungsparameter geändert werden. Im Menüpunkt „Hilfe“ werden Hilfestellungen zu oft auftretenden Benutzer-Problemen

¹⁸¹ Eigene Darstellung

gegeben. Rechts in der Menüleiste wird der Aktualisierungscountdown mittels eines Balkendiagramms visualisiert.

4.5.7 Daten-Export

Durch das Betätigen des Buttons „visTABLE®touch - Export“ wird der Export aller Datensätze durchgeführt. Ausgegeben werden die CSV-Dateien, die in Standard-Materialfluss-Software wie „visTABLE®touch“ eingebunden werden können. Außerdem können somit weiterführende Analysen mittels „Microsoft Excel“ erstellt werden.

Name	Änderungsdatum	Typ	Größe
 Test_20180210_Verweildauer_20180520_1702	20.05.2018 17:02	Microsoft Excel-CS...	1 KB
 Test_20180210_gesamt_20180520_1702	20.05.2018 17:02	Microsoft Excel-CS...	1 KB
 Test_20180210_bereinigte_Daten_20180520_1702	20.05.2018 17:02	Microsoft Excel-CS...	2 KB
 Test_20180210_Bereiche_gesamt_20180520_1702	20.05.2018 17:02	Microsoft Excel-CS...	1 KB
 Test_20180210_Bereiche_2224_20180520_1702	20.05.2018 17:02	Microsoft Excel-CS...	1 KB
 Test_20180210_Bereiche_2223_20180520_1702	20.05.2018 17:02	Microsoft Excel-CS...	1 KB
 Test_20180210_Bereiche_2222_20180520_1702	20.05.2018 17:02	Microsoft Excel-CS...	1 KB
 Test_20180210_2224_20180520_1702	20.05.2018 17:02	Microsoft Excel-CS...	1 KB
 Test_20180210_2223_20180520_1702	20.05.2018 17:02	Microsoft Excel-CS...	1 KB
 Test_20180210_2222_20180520_1702	20.05.2018 17:02	Microsoft Excel-CS...	1 KB

Abbildung 54: Exportdateien ¹⁸²

In das Dokument mit dem Titel Verweildauer werden die berechneten Verweildauern in Sekunden ausgegeben. In der Matrixdarstellung werden für jeden Tag (Spalte) die dazugehörige Verweildauer je Repeater (Zeile) angezeigt. In der Spalte ganz rechts wird ein geglätteter Mittelwert aller Tags gebildet.

	A	B	C	D	E
1		2222	2223	2224	Mittelwert_gesamt
2	3333	15,5	0	0	15,5
3	3334	0	0	0	0
4	3335	180	482	0	280,6666667
5	3336	0	0	0	0

Abbildung 55: Export der berechneten Verweildauer je Tag und Repeater ¹⁸³

In „bereinigte_Daten“ werden die bereinigten Datensätze aller Tags ausgegeben. Abbildung 56 zeigt einen Ausschnitt davon. Bereits ausgewertete bereinigte Datensätze können über das Menü „Auswertung“ und „CSV laden“ erneut in das Tool geladen werden. Dadurch können Auswertungen fortgesetzt bzw. Visualisierungen erneut aufgerufen werden. Bei der Fortsetzung von Auswertungen ist zu beachten, dass die chronologische Reihenfolge der Datensätze nicht verletzt wird.

¹⁸² Eigene Darstellung

¹⁸³ Eigene Darstellung

	A	B	C	D	E
1	Zeitstempel	Antenne	Repeater	Tag	Qualität
2	10.02.2018 21:27	150	3333	2222	-89
3	10.02.2018 21:30	150	3334	2222	-78
4	17.02.2018 17:55	150	3333	2222	-78
5	17.02.2018 17:55	150	3333	2222	-73
6	17.02.2018 17:55	150	3333	2222	-75
7	18.02.2018 09:20	150	3335	2222	-75
8	18.02.2018 09:21	150	3334	2222	-85
9	18.02.2018 09:22	150	3335	2222	-56
10	18.02.2018 09:23	150	3333	2222	-78
11	18.02.2018 16:32	150	3333	2222	-67
12	18.02.2018 16:47	150	3334	2222	-80
13	20.02.2018 09:55	150	3333	2222	-68
14	07.03.2018 15:18	150	3333	2222	-89
15	10.03.2018 15:20	150	3333	2222	-89
16	10.03.2018 15:23	150	3333	2222	-89
17	10.03.2018 15:26	150	3336	2222	-89
18	10.03.2018 15:32	150	3336	2222	-89
19	11.03.2018 13:14	150	3335	2222	-78
20	11.03.2018 13:15	150	3335	2222	-78
21	11.03.2018 13:16	150	3335	2222	-78
22	11.03.2018 13:17	150	3333	2222	-67
23	11.03.2018 13:17	150	3333	2222	-67
24	11.03.2018 13:46	150	3335	2222	-80

Abbildung 56: Export der bereinigten Daten ¹⁸⁴

In den übrigen CSV-Dateien werden die Transportrelationen in der benötigten Formatierung zum Importieren in die Materialflusssoftware „visTABLE®touch“ geschrieben. Dies erfolgt für jeden Tag auf Repeater-, als auch auf Bereichsbasis. Außerdem werden Dokumente erstellt, in denen die Transportrelationen für Bereiche bzw. Repeater aufsummiert werden.

	A	B	C	D	E
1	Quelle	Senke	Intensitaet	Netz	Farbe
2	3333	3336	0	2224	RGB(255,153,0)
3	3333	3334	0	2224	RGB(255,153,0)
4	3333	3335	0	2224	RGB(255,153,0)
5	3334	3333	0	2224	RGB(255,153,0)
6	3334	3336	1	2224	RGB(255,153,0)
7	3334	3335	1	2224	RGB(255,153,0)
8	3335	3333	0	2224	RGB(255,153,0)
9	3335	3334	1	2224	RGB(255,153,0)
10	3335	3336	0	2224	RGB(255,153,0)
11	3336	3333	0	2224	RGB(255,153,0)
12	3336	3334	1	2224	RGB(255,153,0)
13	3336	3335	1	2224	RGB(255,153,0)

Abbildung 57: Export der Intensitäten je Tag ¹⁸⁵

4.5.8 Parameter-Einstellungen

Um für jedes Projekt optimale Auswertungsergebnisse zu erzielen, können mit den Parameter-Einstellungen alle Einstellungsoptionen der Auswertungsmethode

¹⁸⁴ Eigene Darstellung

¹⁸⁵ Eigene Darstellung

angepasst werden. Nach einem Neustart des Auswertungstools „ToCV“ werden die neuen Parameter zur Datenaufbereitung und Verweildauerberechnung übernommen.

Folgende Parameter können angepasst werden:

- **Aktualisierungsintervall:** Standardmäßig beträgt das Aktualisierungsintervall fünf Sekunden. Dieser Wert kann beliebig verändert werden. Bei großen Datenmengen ist ein geringes Intervall von Vorteil.
- **Anzahl neuer Datensätze pro Aktualisierung:** Mit diesem Parameter wird definiert, wie viele Datensätze maximal pro Aktualisierung eingelesen werden. Um die Berechnungszeit bei großen Datenmengen zu verkürzen, ist es ratsam, das Aktualisierungsintervall zu verkleinern und nicht die Anzahl an neuen Datensätzen signifikant zu erhöhen.
- **Repeater-Qualität-Grenzwert:** Sollten Auswertungen mit sehr kleinen Empfangsradien benötigt werden, kann dieser Parameter angepasst werden. Empfangsstärken unter -90 Dezibel sollten nicht realisiert werden.
- **Grenzwert der Erkennung verschiedener Repeater:** Wird ein Tag an zwei Repeatern annähernd gleichzeitig erkannt, kann mit diesem Grenzwert von der Datenaufbereitung erkannt werden, in welcher Zeitspanne in Sekunden die Aufzeichnung korrekt ist bzw. wann es sich um eine Fehlmessung handelt. Standardmäßig wird hier eine Sekunde verwendet. Dieser Grenzwert sollte in der Regel nicht verändert werden müssen.
- **Zeitintervall, in dem schwankende Repeater erkannt werden:** Wird ein Tag an Repeater A, danach an Repeater B und zuletzt an Repeater A erneut erkannt, kann mittels diesem Parameter der Repeater B bereinigt werden, falls sich die Datensätze im angegebenen Zeitintervall befinden. Gute Erfahrungswerte wurden bei Intervallen zwischen sechs und zehn Sekunden erzielt.
- **Wochenende ausschließen:** Durch die Auswahl der Wochenende-Funktion können bis zu vier Zeitspannen von der Auswertung ausgeschlossen werden. Dabei muss es sich nicht zwingend um Wochenenden handeln. Für eine korrekte Angabe einer Zeitspanne ist sowohl ein Startzeitpunkt in der linken Spalte, als auch ein Endzeitpunkt in der rechten Spalte anzugeben. Das benötigte Format lautet: „TT.MM.JJJJ HH:MM:SS“

Datenaufbereitung	Verweildauer	schließen
Aktualisierungsintervall [s]:	<input type="text" value="5"/>	
Anzahl neuer Datensätze pro Aktualisierung:	<input type="text" value="5"/>	
Repeater-Qualität-Grenzwert [db]:	<input type="text" value="-90"/>	
Grenzwert für Erkennung verschiedener Repeater [s]:	<input type="text" value="1"/>	
Zeitintervall, in dem schwankende Repeater erkannt werden [s]:	<input type="text" value="10"/>	
Wochenende ausschließen:	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<input type="text" value="18.05.2018 18:00:0"/>	<input type="text" value="22.05.2018 06:00:0"/>
	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Abbildung 58: Parameter-Einstellungen der Datenaufbereitung ¹⁸⁶

- **Verweildauer:** Zur Berechnung der geglätteten Verweildauer sind in dieser Oberfläche Minima und Maxima für die verschiedenen Zugriffstypen anzugeben. Die in Abbildung 59 angegebenen Grenzwerte in Sekunden sollten für den Großteil der durchzuführenden Projekte geeignet sein bzw. nur wenig davon abweichen.

Datenaufbereitung	Verweildauer	schließen
Einstellungen - Verweildauer		
	Minimum	Maximum
Abholbahnhof:	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="360"/>
Außenbereich:	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="750"/>
Durchfahrt:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="8"/>
Direktzugriff:	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="60"/>

Abbildung 59: Parameter-Einstellungen zur Berechnung der Verweildauer ¹⁸⁷

4.5.9 Repeater-Kontrolle

Mittels der Repeater-Kontroll-Funktion kann das System bezüglich Ausfälle ohne ständige Überwachung durch den Benutzer kontrolliert werden. Um diese Funktion zu starten, muss im Menü „Auswertung“ das „Repeater-Warnsystem“ aufgerufen werden. Nach der Auswahl erscheint ein Hinweis, dass der Benutzer den Browser aufrufen und sich unter „127.0.0.1“ beim RFID-Webserver anmelden muss.

¹⁸⁶ Eigene Darstellung

¹⁸⁷ Eigene Darstellung

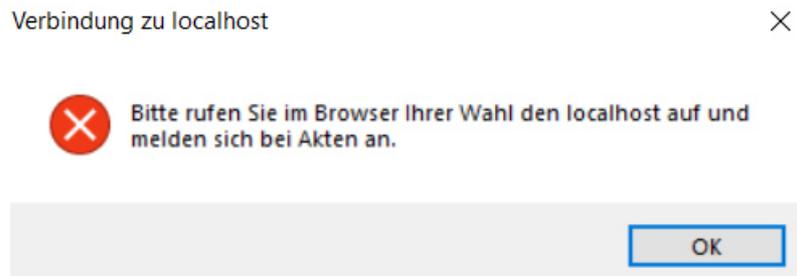


Abbildung 60: Hinweis zum Aufrufen des Webservers ¹⁸⁸

Nach Bestätigung durch Klicken auf den Button „OK“ wird die Kontroll-Oberfläche geladen. In den Eingabefeldern können bis zu vier E-Mail Adressen angegeben werden. Diese Accounts erhalten Benachrichtigungen, falls Antennen oder Repeater ausgefallen sind. Mittels „Warnsystem starten“ beginnt der Überwachungsprozess. In regelmäßigen Intervallen kontrolliert dieses Tool, ob alle Antennen und Repeater aktiv sind. Durch Auswahl von „Warnsystem stoppen“ kann dieser Prozess beendet werden.

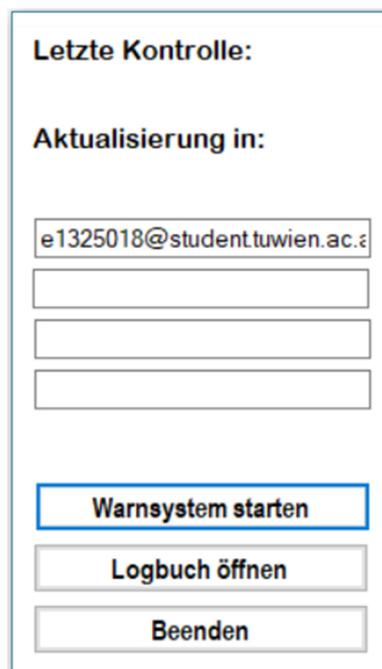


Abbildung 61: Repeater-Kontrollsystem ¹⁸⁹

Nach Ablauf eines jeden Intervalls werden die Statusinformationen in ein Logbuch eingetragen, das in der folgenden Abbildung ersichtlich ist. Dadurch wird ermöglicht, Ausfallursachen zu identifizieren sowie Zeitspannen in der Auswertung auszuschließen, in denen nicht alle Komponenten aktiv waren. Dieses Logbuch kann mittels „Logbuch öffnen“ aufgerufen werden. Mit „Beenden“ kann das Kontroll-Tool geschlossen werden.

¹⁸⁸ Eigene Darstellung

¹⁸⁹ Eigene Darstellung

```
-----  
21.03.2018 10:28:17: Antennen OK  
21.03.2018 10:28:17: AUSFALL Repeater 200  
-----  
21.03.2018 10:43:37: Antennen OK  
21.03.2018 10:43:37: AUSFALL Repeater 200 212  
-----  
21.03.2018 10:58:58: Antennen OK  
21.03.2018 10:58:58: Repeater OK  
-----
```

Abbildung 62: Logbuch-Einträge ¹⁹⁰

Tritt ein Ausfall einer Komponente auf, erhalten alle angegebenen E-Mail Accounts eine Störungsbenachrichtigung. Diese beinhaltet, welche Repeater oder Antennen ausgefallen sind, sowie eine Anleitung zur Störungsbehebung inklusive Bildmaterial im Anhang. Damit wird ermöglicht, dass auch Personen, die mit den RFID-Komponenten nicht vertraut sind, Ausfälle beheben können.

RFID Störung

Christoph Ecker <e1325018@student.tuwien.ac.at>

Gesendet: Do. 19.04.2018 08:03

An: e1325018@student.tuwien.ac.at

Nachricht | repeater.jpg (74 KB)

Sehr geehrtes Projektmitglied,

beim RFID-Aufbau in Ihrem Betrieb ist eine Störung aufgetreten.

Bitte kontrollieren Sie, ob folgende Repeater aktiv sind:

- 408
- 407
- 404
- 212

Gehen Sie wie folgt vor:

Kontrollieren Sie, ob die Füllstandskontrollleuchten des Akkupacks, an dem der Repeater angeschlossen ist, blau leuchtet (siehe Bild im Anhang). Ist dies der Fall, hat sich die Verbindung zum Repeater wieder aufgebaut. Ist dies nicht der Fall, drücken Sie bitte auf die Taste des Akkupacks. Die Füllstandsanzeige leuchtet jetzt wieder blau und die Verbindung ist aufgebaut. Leuchtet die Füllstandsanzeige noch immer nicht, dann ist der Akkupack leer und muss ausgetauscht werden. Führen Sie diese Schritte für jeden der oben genannten Repeater durch.

Bitte beachten Sie, dass diese Nachricht automatisch erstellt wurde. Bei Fragen wenden Sie sich bitte an Ihre Fraunhofer Austria Kontaktperson.

Mit freundlichen Grüßen
Ihr Fraunhofer Austria RFID-Aufbau

Abbildung 63: Störungsbenachrichtigung via E-Mail ¹⁹¹

¹⁹⁰ Eigene Darstellung

¹⁹¹ Eigene Darstellung

5 Praktische Anwendung der Auswertungsmethode

In diesem Abschnitt wird die entwickelte Auswertungsmethode an einem Fallbeispiel in der Chemie-Industrie angewendet. Nach einer einführenden Beschreibung des Unternehmens werden die Herausforderungen dieses Unternehmens behandelt. Darauf aufbauend erfolgt die Dokumentation der Installation der temporären, aktiven RFID-Trackinglösung sowie die Anwendung der neuen Auswertungsmethode. Abschließend werden Auswertungsergebnisse und Verbesserungspotentiale gezeigt.

5.1 Beschreibung des Unternehmens

Für das Fallbeispiel wird die entwickelte Auswertungsmethode in einem international agierenden Unternehmen der Chemie-Industrie angewendet. Am Standort in Österreich wird Rohöl mittels LKWs angeliefert und zu Fertigprodukten weiterverarbeitet. Die produzierten Güter unterscheiden sich in ihrer chemischen Zusammensetzung und werden in Großgebinden zu 60 Litern bzw. in Kleingebinden zu 5 Litern abgefüllt.

Folgende Prozessschritte sind dazu notwendig:

- Die Rohöl-Tanks werden an den Abschlauchstellen mit Rohöl aus den LKWs befüllt.
- Über Rohrleitungen wird das Rohöl von den Tanks in die Mischhalle geleitet, in der Additive beigemischt werden. Additive sind Zusatzstoffe, die die Eigenschaften des Öls verändern. Dadurch kann bspw. eine höhere Viskosität erzielt oder Alterung vermieden werden.
- Die Lagerung verschiedener Additive erfolgt als fester Block in großen Behältern. Benötigt die Produktion einen Zusatzstoff, wird der Behälter mittels eines Gabelstaplers vom Lagerplatz zu Aufbereitungsöfen gebracht. In den Öfen werden die Additive mehrere Stunden erhitzt, bis der Zusatzstoff die optimalen Eigenschaften für die Produktion aufweist. Anschließend bringen Gabelstapler die vorbereiteten Additive in die Mischhalle. Nach dem Mischungprozess werden die Reste des Additivs mit einem Gabelstapler an einen beliebigen, freien Lagerplatz transportiert.
- Aus der Mischhalle wird das Öl in die Abfüllhalle geleitet. Dort erfolgt die Abfüllung des Gemisches in Großgebinden zu 60 Litern bzw. in Kleingebinden zu 5 Litern. Die Großgebinde-Fässer werden im überdachten Außenbereich gelagert und mittels Gabelstaplern zur Abgabestelle der Leerfässer gebracht. Von dort transportiert ein Förderband das Fass in die Abfüllhalle. Die

Kleingebinde-Behälter werden auf Paletten im Indoor-Lagerbereich gelagert. Der Transport in die Abfüllhalle erfolgt mittels Gabelstaplern oder Ameisen.

- Nach erfolgter Befüllung der Fässer werden diese mit Gabelstaplern in das Fertigwarenlager gebracht und dort gelagert. Gabelstapler werden ebenfalls für die Verladung der Fertigware auf LKWs für den Abtransport zum Kunden verwendet.

Abbildung 64 zeigt ein vereinfachtes Layout des untersuchten Standorts.

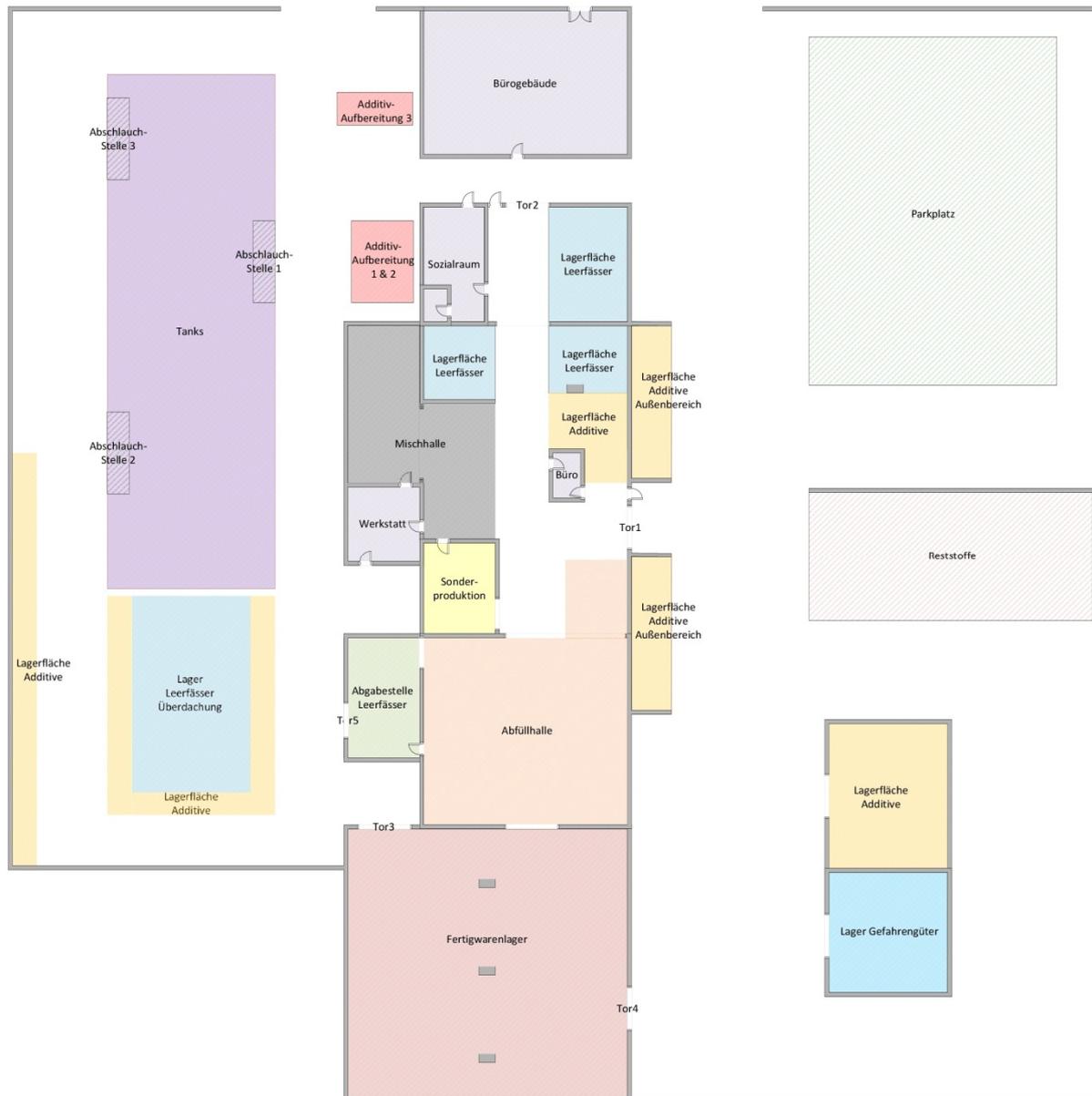


Abbildung 64: vereinfachtes Layout des Unternehmens ¹⁹²

¹⁹² Eigene Darstellung

5.2 Problemstellung

Folgende Herausforderungen stellen sich dem Unternehmen:

- **Additiv-Lagerplätze:** Da die Additiv-Lager über das gesamte Betriebsgelände verteilt sind, kommt es häufig zu sehr langen Transportwegen. Außerdem sind den verschiedenen Additiven keine fixen Lagerplätze zugeordnet. Dadurch kommt es zu hohen Suchzeiten. Dies tritt vor allem dann auf, wenn Springer eingesetzt werden, die die Additiv-Versorgung unregelmäßig durchführen oder wenn selten gebrauchte Additive verwendet werden. Ziel der Materialflussanalyse mittels RFID-Technologie ist, zurückgelegte Distanzen, Transportaufwände, Intensitäten und Verweildauern zu erheben, die der aufbauenden Planung eines optimierten Additiv-Lagerkonzeptes dienen.
- **Großgebäude-Fass-Abgabe:** Ein Gabelstapler ist ständig damit beschäftigt, die leeren Großgebäude-Fässer vom Lagerplatz im überdachten Außenbereich zur Abgabestelle der Abfüllhalle zu bringen. Mittels der eingesetzten, aktiven, temporären RFID-Trackinglösung soll der Transportaufwand des Gabelstaplers ermittelt werden.
- **Mitarbeiter-Sicherheit:** Die Sicherheit der Mitarbeiter hat in diesem Unternehmen einen sehr hohen Stellenwert. Daher soll im Rahmen der Materialflussanalyse besonders auf diesen Aspekt geachtet werden.
- **Investition in den Standort:** Durch die Materialflussanalyse soll es dem Unternehmen ermöglicht werden, trotz fehlender Buchungsdaten, Investitionen gezielt zu tätigen.

5.3 Temporärer Aufbau der aktiven RFID-Trackinglösung

Um die Herausforderungen des Unternehmens beseitigen zu können, müssen Daten beschafft werden, die in diesem Betrieb nicht verfügbar sind. Daher wird die temporäre, aktive RFID-Trackinglösung eingesetzt, um Buchungsdaten zu generieren. Am Standort werden die aktiven RFID-Komponenten aus Tabelle 5 für einen Zeitraum von zwei Wochen aufgebaut:

Bezeichnung	ID	Ort	Aufgabe
Leitrechner	-	Produktionsbüro	Am Leitrechner ist die benötigte Software für die Datengenerierung und -auswertung installiert.
WLAN-Router	-	Produktionsbüro	Der WLAN-Router baut das externe WLAN-Netz über den gesamten Produktionsbereich auf.
Netzwerkantenne 150	150	Tor 1	Die Netzwerkantenne 150 spannt das RFID-Netz über den östlichen Teil des Layouts auf. Als Repeater-Empfangskanal wird Kanal 3 verwendet.
Netzwerkantenne 151	151	Werkstatt	Über den westlichen Produktionsbereich generiert die Antenne 151 das RFID-Netz. Diese Antenne verwendet Kanal 4 als Repeater-Empfangskanal. Dadurch kann verhindert werden, dass ein Repeater die Information über einen empfangenen Tag nur an eine der beiden Antennen sendet.
Repeater 200	200	Ausfahrt überdachtes Außenlager	Mit diesem Repeater werden die Ausfahrt aus dem überdachten Außenlager sowie Entnahmen der Additiv-Behälter in diesem Bereich aufgezeichnet.
Repeater 201	201	Umfahrung überdachtes Außenlager	Anhand dieses Repeaters kann festgestellt werden, ob ein Gabelstapler durch oder um das überdachte Außenlager fährt.
Repeater 202	202	Einfahrt überdachtes Außenlager	Dieser Repeater kennzeichnet den Zeitpunkt der Einfahrt in das überdachte Außenlager. Dadurch können Verweilzeiten für die Entnahme von Additiv-Behältern in diesem Bereich ermittelt werden.

Bezeichnung	ID	Ort	Aufgabe
Repeater 203	203	Zufahrt überdachtes Außenlager	Mittels Repeater 203 wird die Zufahrt eines Gabelstaplers in den überdachten Außenbereich aufgezeichnet.
Repeater 204	204	Abgabestelle Großgebäude	An der Abgabestelle der Großgebäude-Fässer ist der Repeater 204 platziert, um die Anzahl der abgegebenen Fässer ermitteln zu können.
Repeater 205	205	Additiv-Aufbereitung 1&2	Anhand dieses Repeaters kann die Anzahl der aufbereiteten Additiv-Fässer berechnet werden.
Repeater 206	206	Abschlauchstelle 1	An den Abschlauchstellen verbinden die Mitarbeiter die LKWs mit den Tanks. Somit kann hier die Anzahl der Füllvorgänge bestimmt werden.
Repeater 207	207	Additiv-Aufbereitung 3	An dieser Stelle kann, wie bei Repeater 205, die Anzahl der aufbereiteten Additiv-Fässer ermittelt werden.
Repeater 208	208	Durchfahrt	Dieser Repeater misst die Anzahl der Durchfahrten der Gabelstapler zwischen dem Bürogebäude und der Produktionshalle.
Repeater 209	209	Tor 2	Mittels Repeater 209 kann die Anzahl der Fahrten durch Tor 2 ermittelt werden.
Repeater 210	210	Indoor-Lagerbereich	Dieser Repeater kennzeichnet den Lagerbereich der Additive in der Produktionshalle.
Repeater 211	211	Einfahrt Mischhalle	Durch Repeater 211 kann die Anzahl der Transporte der aufbereiteten Additive in die Mischhalle berechnet werden.

Bezeichnung	ID	Ort	Aufgabe
Repeater 212	212	Tor 1	Die Fahrten der Gabelstapler durch Tor 1 werden mit Repeater 212 aufgezeichnet.
Repeater 213	213	Außenlager	Dieser Repeater überwacht das nördliche Additiv-Außenlager.
Repeater 214	214	Außenlager	Mit Repeater 214 wird das südliche Außenlager sowie die Additiv-Lagerplätze neben dem Gefahrgut-Lager gemessen.
Repeater 215	215	Abfüllhalle	Repeater 215 zeichnet die Transporte der Gabelstapler in der Abfüllhalle auf.
Tag 301	301	Gabelstapler 1	Mittels Gabelstapler 1 werden die Additiv-Behälter vom Lagerplatz in die Aufbereitung und von dort in die Mischhalle gebracht. Außerdem dient dieser Gabelstapler zum Abtransport der Behälter aus der Mischhalle.
Tag 303	303	Gabelstapler 2	Gabelstapler 2 wird für die gleichen Tätigkeiten wie Gabelstapler 1 eingesetzt.
Tag 305	305	Gabelstapler 3	Dieser Gabelstapler versorgt die Produktion mit leeren Großgebinder-Fässern.
Tag 307	307	Gabelstapler 4	Gabelstapler 4 wird für die Einlagerung der Kleingebinder-Behälter verwendet. Bei hohem Produktionsvolumen hilft dieser Gabelstapler bei der Additiv-Versorgung mit.

Tabelle 5: Verwendete RFID-Komponenten

Die Abbildung 65 stellt den Aufbau der RFID-Komponenten am Standort dar. Die linke Darstellung zeigt die Positionierung eines Repeaters bei einer der Ausfahrten aus der Produktionshalle. In der rechten Abbildung ist die Montage eines Tags am Scheinwerfer eines Gabelstaplers mittels Kabelbindern zu sehen.



Abbildung 65: Repeater-Aufbau mittels Ständers sowie Befestigung eines Tags an einem Gabelstapler ¹⁹³

5.4 Anwendung der Auswertungsmethode

Während der Anwendung der temporären, aktiven RFID-Trackinglösung bei diesem Unternehmen ist das entwickelte Auswertungstool „ToCV“ erstmals eingesetzt worden. Dazu ist nach dem Aufbau der RFID-Komponenten am Standort ein Projekt in „ToCV“ mit folgenden Eigenschaften angelegt worden:

¹⁹³ Eigene Darstellung

In den Layout-Einstellungen wurden acht Bereiche erstellt. Diese sind:

- der überdachte Lagerbereich,
- die Abgabestelle der Fässer,
- die Additiv-Aufbereitung,
- die Durchfahrt bzw. das Tor 2,
- der Indoor-Lagerbereich bzw. die Einfahrt zur Mischhalle,
- das Tor 1,
- der Outdoor-Lagerbereich und
- die Abfüllhalle.

Die folgende Abbildung zeigt die angelegten Bereiche sowie deren Lage im vereinfachten Layout.



Abbildung 66: Layout-Einstellungen ¹⁹⁴

Im nächsten Schritt erfolgt das Anlegen der Repeater mittels Repeater-Einstellungen. Jedem Repeater wird, wie Abbildung 67 zeigt, ein Zugriffstyp für die Berechnung der Verweildauer, die Position im Layout und der Bereich, in dem sich der Repeater befindet, definiert.

¹⁹⁴ Eigene Darstellung

Repeater-Einst.

Seite 1

ID	Zugriffstyp	Bereich
<input checked="" type="checkbox"/> 200	Auss	Ueb
<input checked="" type="checkbox"/> 201	Gate	Ueb
<input checked="" type="checkbox"/> 202	Gate	Ueb
<input checked="" type="checkbox"/> 203	Gate	Ueb
<input checked="" type="checkbox"/> 204	Abho	Abqa
<input checked="" type="checkbox"/> 205	Abho	Aufb
<input checked="" type="checkbox"/> 206	Abho	Aufb
<input checked="" type="checkbox"/> 207	Abho	Aufb

Repeater-Einst.

Seite 2

ID	Zugriffstyp	Bereich
<input checked="" type="checkbox"/> 208	Gate	Tor2
<input checked="" type="checkbox"/> 209	Gate	Tor2
<input checked="" type="checkbox"/> 210	Abho	Indo
<input checked="" type="checkbox"/> 211	Abho	Indo
<input checked="" type="checkbox"/> 212	Gate	Tor1
<input checked="" type="checkbox"/> 213	Auss	Outd
<input checked="" type="checkbox"/> 214	Auss	Outd
<input checked="" type="checkbox"/> 215	Abho	Aufb

Abbildung 67: Repeater-Einstellungen¹⁹⁵

Die Abbildung 68 zeigt, wie den beobachteten Gabelstaplern mittels der Tag-Einstellungen der verwendete Tag sowie die Farbe der Visualisierung zugewiesen werden.

Das Anlegen des Projekts schließt die Anpassungen der Auswertungsparameter ab. Das Aktualisierungsintervall des Auswertungstools ist mit fünf Sekunden bei maximal 75 neuen Datensätzen festgelegt, die Empfangsqualität mit -90 Dezibel. Der Grenzwert für das Erkennen von verschiedenen Repeatern ist mit einer Sekunde begrenzt. Fehlmessungen mit schwankenden Repeatern werden innerhalb eines Zeitraums von zehn Sekunden gelöscht. Außerdem sind zwei Wochenenden, in denen nicht produziert wurde, von der Auswertung ausgeschlossen.

¹⁹⁵ Eigene Darstellung

The image shows two side-by-side windows from a software application. The left window is titled 'Tag-Einstellungen' (Tag Settings) and shows a list of tags with columns for ID, Bezeichnung (Name), and Farbe (Color). Four tags are checked: 301 (Stapler1, red), 303 (Stapler2, blue), 305 (Stapler3, green), and 307 (Stapler4, orange). A 'Einstellungen abschließen' (Finish settings) button is at the bottom. The right window is titled 'Datenaufbereitung' (Data Preparation) and contains various input fields for parameters like update intervals, quality thresholds, and time periods. It has tabs for 'Datenaufbereitung', 'Verweildauer', and 'schließen'.

Abbildung 68: Tag- und Parameter-Einstellungen¹⁹⁶

Nach dem Abschluss aller Einstellungen sind die aufgezeichneten RFID-Datensätze laufend aufbereitet sowie Transportintensitäten berechnet und in den entsprechenden Tabellen in der Auswertungsübersicht ausgegeben worden. Mittels der Export-Funktion des Auswertungstools sind am Ende des Aufzeichnungszeitraums CSV-Files für aufbauende Analysen erstellt worden.

5.5 Ergebnisse und Fazit des Fallbeispiels

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des Fallbeispiels gezeigt. Darauf aufbauend folgt die Ableitung von möglichen Optimierungspotentialen für das untersuchte Unternehmen. Im abschließenden Fazit werden Vor- und Nachteile, aufgetretene Probleme sowie Verbesserungspotentiale für das entwickelte Auswertungstool „ToCV“ erörtert.

5.5.1 Ergebnisse der Auswertung

Folgende Auswertungen der RFID-generierten Daten sind vom entwickelten Auswertungstool „ToCV“ erstellt worden:

- Sankey-Diagramme als Endzustand der Echtzeit-Visualisierung der Transportintensitäten
- Transportintensitäten in Tabellenform auf Repeater- und Bereichsebene, die als Basisdaten für die Erstellung von Sankey-Diagrammen mittels „visTABLE@touch“ dienen
- Verweildauern der Gabelstapler an den Repeatern in Tabellenform

¹⁹⁶ Eigene Darstellung

- bereinigte RFID-generierte Rohdaten bestehend aus Zeitstempel, Antennen-ID, Repeater-ID, Tag-ID und Empfangsstärke

Anhand der Sankey-Diagramme werden in weiterer Folge die Transportbewegungen der vier Gabelstapler analysiert. Die dazugehörigen Transportintensitäten sind im Anhang in Tabellenform ersichtlich.

Die Transportintensitäten von Stapler 1 sind in Abbildung 69 dargestellt. Hier erkennt man, dass dieser Stapler die Belieferung der Mischhalle mit Additiven durchführt. Nach Verlassen seines Parkplatzes bei Tor 1 fährt dieser Stapler durch den Indoor-Lagerbereich und durch Tor 2 aus der Produktionshalle. Er holt Additive vom Outdoor-Lager oder dem überdachten Außenlager und bringt sie in die Additiv-Aufbereitung. Nach Beendigung dieser Tätigkeit kehrt der Stapler zu Tor 1 zurück. Nachdem die Additive fertig aufbereitet sind, holt Stapler 1 diese ab und bringt sie in die Mischhalle. Manchmal fährt dieser Stapler aufgrund der kürzeren Strecke vom Outdoor-Lager durch die Abfüllhalle zur Aufbereitung, obwohl dies dem Staplerfahrer untersagt ist.

Dieser Stapler ist voll ausgelastet.

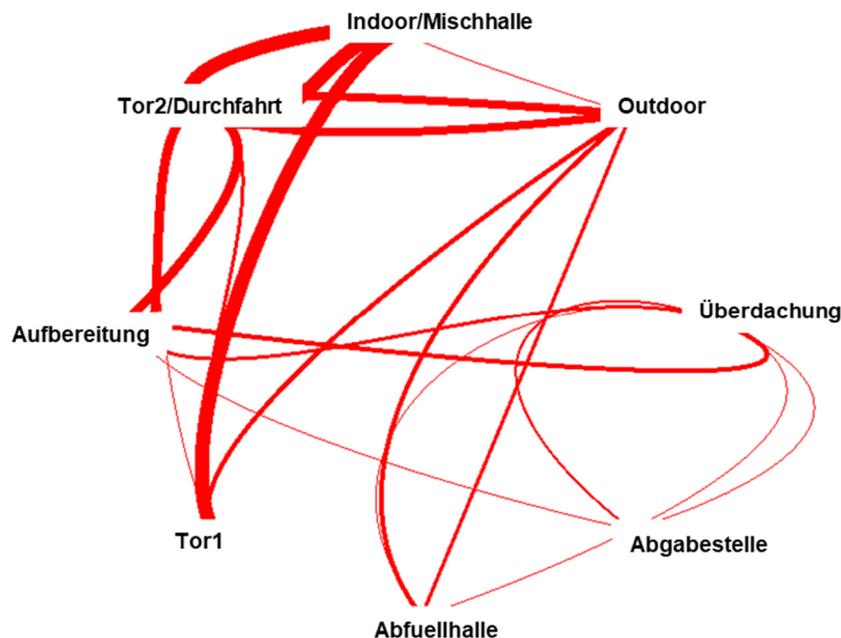


Abbildung 69: Visualisierung Stapler 1 ¹⁹⁷

Stapler 2 ist ebenfalls für die Additiv-Versorgung zuständig. Das Diagramm von Stapler 2 stimmt mit jenem von Stapler 1 weitestgehend überein. Auffällig ist, dass er im Indoor-Lager geparkt wird. Daher ergibt sich die geringere Transportintensität zwischen Tor 1 und dem Indoor-Lagerbereich. Auch dieser Stapler fährt

¹⁹⁷ Eigene Darstellung

verbotenerweise durch die Abfüllhalle. Außerdem ist dieser Gabelstapler an der Abgabestelle der Fässer aufgezeichnet worden.

Auch dieser Stapler ist voll ausgelastet.

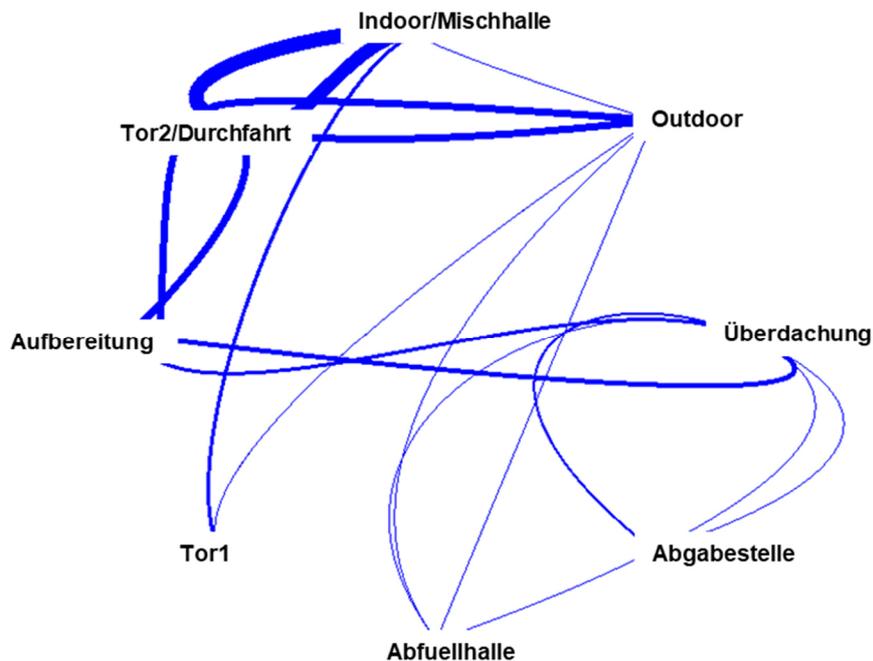
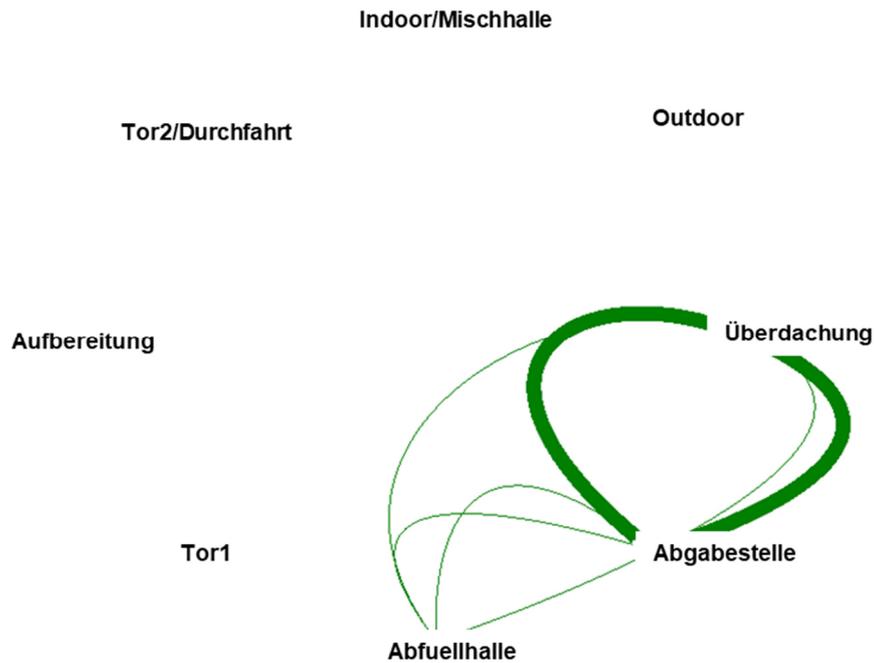


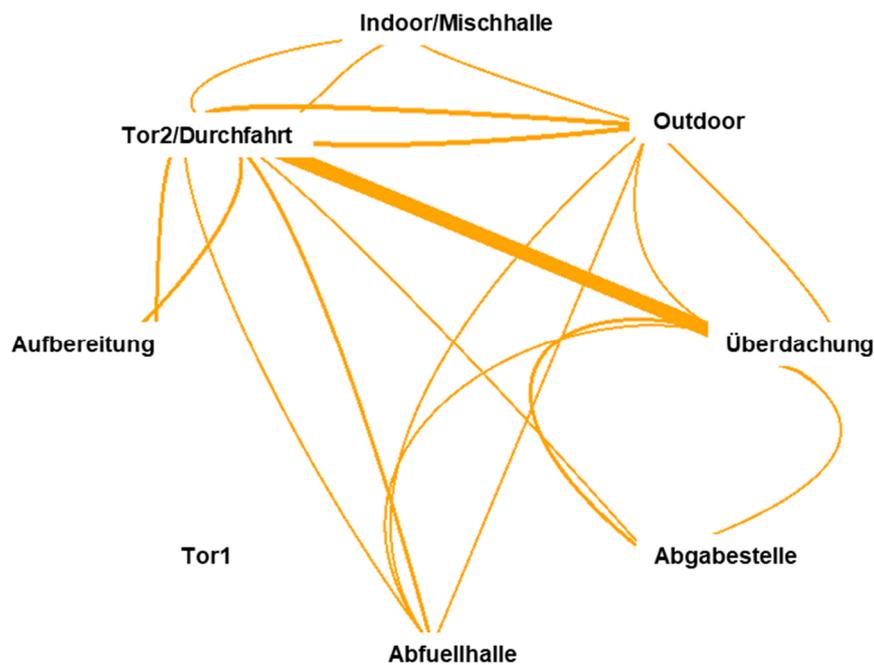
Abbildung 70: Visualisierung Stapler 2 ¹⁹⁸

Abbildung 71 zeigt, die Transporte von Stapler 3. Dieser Stapler ist den ganzen Tag unter voller Auslastung mit der Versorgung der Mischhalle mit Großgebilde-Fässern beschäftigt. Dafür transportiert er Fässer von der Überdachung zur Abgabestelle. Die sehr geringe Transportintensität zur Abfüllhalle spiegelt die Versorgung mit Kleingebinde-Behältern wider.

¹⁹⁸ Eigene Darstellung

Abbildung 71: Visualisierung Stapler 3 ¹⁹⁹

Anhand von Abbildung 72 sowie der ermittelten Intensitäten in Tabellenform, die im Anhang ersichtlich sind, zeigt sich, dass Stapler 4 nur sehr wenige Transporte durchführt und die meiste Zeit geparkt ist. Die starke Transportrelation zwischen Tor 2 und der Überdachung stellt eine Entladung eines LKWs, der neue Großgebinder-Fässer geliefert hat, sowie den Transport der Fässer zum Lagerplatz im überdachten Außenbereich dar.

Abbildung 72: Visualisierung Stapler 4 ²⁰⁰

¹⁹⁹ Eigene Darstellung

Durch die Einbettung der ausgewerteten Daten in die Materialfluss-Software „visTABLE@touch“ können die Materialflüsse anhand eines Sankey-Diagramms mit hinterlegtem Layout visualisiert werden, um beispielsweise besonders stark frequentierte Strecken zu identifizieren. In diesem Fallbeispiel ist der Weg durch die Produktionshalle sowie die Durchfahrt zwischen Bürogebäude und Halle stark befahren. Was sich hier auch zeigt, ist, dass sehr lange Transportwege bei der Additiv-Versorgung zurückgelegt werden müssen. Die stärkste Transportbeziehung besteht zwischen dem überdachten Außenlager und der Fassabgabestelle durch Stapler 3.

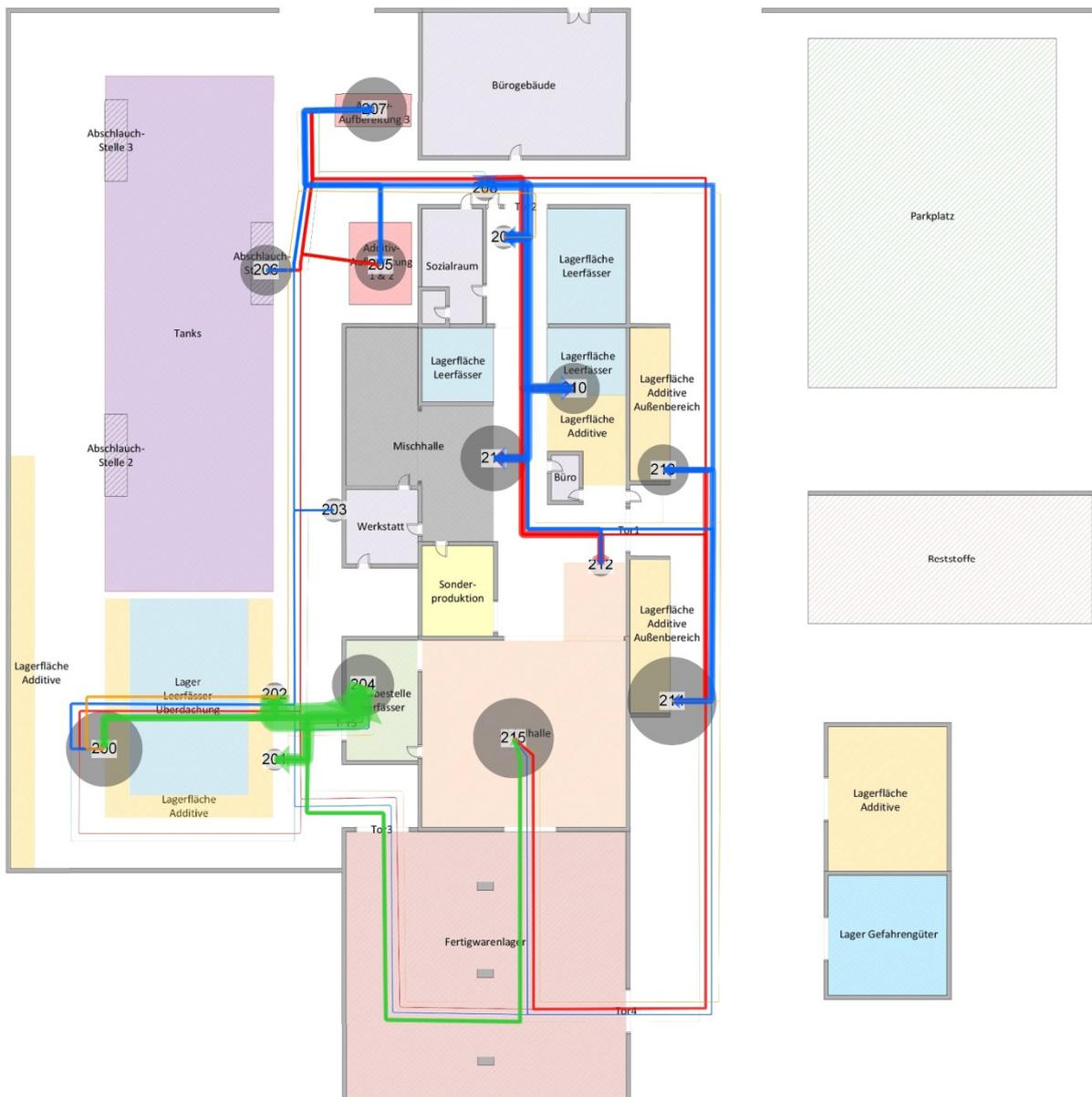


Abbildung 73: Materialflüsse des Unternehmens ²⁰¹

²⁰⁰ Eigene Darstellung

²⁰¹ Eigene Darstellung

Die Größe der grauen Kreise, die die Position der Repeater darstellen, entspricht der berechneten, gemittelten Verweildauer aller Stapler. Tabelle 6 zeigt alle Verweildauern der Stapler pro Repeater sowie den gemittelten Wert. Dabei zeigt sich, dass die Verweildauern von Stapler 1 (Tag-ID 301) und Stapler 2 (Tag-ID 303) weitestgehend übereinstimmen. Die berechneten Daten zeigen, dass die Aufnahme eines Additiv-Fasses durch Stapler 1 und 2 rund fünfzig Sekunden dauert. Bei Repeater 200 führt Stapler 1 öfter Tätigkeiten am Lagerbereich an der Grundstücksgrenze durch, daher ergibt sich die längere, mittlere Verweildauer bei der Additiv-Aufnahme. Interessant ist, dass Stapler 2 ab der Einfahrt in die Mischhalle bei Repeater 211 für die Versorgung rund dreißig Sekunden länger benötigt als Stapler 1. Stapler 2 führt fast keine Additiv-Fass-Entnahmen bei Repeater 213 aus, daher die kürzere Verweildauer. Die erhöhte Entnahmezeit der Additive bei Repeater 214 entsteht, da sowohl dieser Bereich als auch der Lagerplatz neben dem Gefahrgüterlager mit diesem Repeater abgedeckt wurden.

Stapler 3 (Tag-ID 305) ist für die Ermittlung der Verweildauer bei Repeater 200 und 204 für die Versorgung der Mischhalle mit Großbinde-Fässern repräsentativ. Rund 31 Sekunden dauert die Entnahme eines Fasses am Lagerplatz und ca. 50 Sekunden die Abgabe am Förderband. Bei Stapler 4 (Tag-ID 307) gibt es aufgrund der geringen Anzahl an Aufenthalten und des unregelmäßigen Einsatzes keine aussagekräftigen Aufschlüsse.

TagID	301	303	305	307	Mittelwert aller Stapler
RepeaterID					
200	131,86	50,96	31,42	250,25	69,40
201	0,91	1,58	0,51		0,69
202	3,79	3,51	3,88		3,44
203	3,89	3,39	2,50		3,53
204		14,00	50,46	312,00	51,26
205	44,74	29,23			37,77
206	37,70	37,53			37,60
207	58,08	52,74			54,71
208	5,21	5,43			4,94
209	3,30	3,14			3,11
210	25,93	46,02		30,00	37,87
211	41,69	70,25			56,30
212	1,79	2,96			2,22
213	49,04	17,69		643,00	37,69
214	83,59	85,26		188,00	85,27
215	115,14	50,40	68,81		74,77

Tabelle 6: Ermittelte Verweildauer in Sekunden

5.5.2 Interpretation der Ergebnisse

Anhand der dargebrachten Analysen können folgende Verbesserungspotentiale abgeleitet werden, die im Rahmen einer aufbauenden Materialflussplanung weiter behandelt werden sollten:

- Durch die Erstellung eines einheitlichen Additiv-Lagerbereichs im Indoor- und Outdoor-Lagerbereich können Suchzeiten und Fahrwege reduziert werden. Die im Indoor-Bereich gelagerten Leerfässer sollten im überdachten Außenlager anstelle der Additive gelagert werden.
- Durch die Verkleinerung des Reststofflagers können hier die Additiv-Aufbereitungsöfen aufgebaut werden. Dies führt zur Reduktion des Staplerverkehrs von den neuen Additiv-Lagerplätzen zu den Öfen bzw. von den Öfen in die Mischhalle.
- Aufgrund der Verlegung der leeren Kleingebinde-Fässer in den überdachten Außenlagerbereich erfolgt die Belieferung in die Abfüllhalle über das Fertigwarenlager. Dadurch kreuzen sich in der Produktionshalle der Staplerverkehr und Transporte der Mitarbeiter nicht mehr, die Fässer mittels Ameisen transportieren. Dies führt zu erhöhter Mitarbeiter-Sicherheit. Außerdem kann Tor 1, das Staplerfahrer aufgrund von Sicherheitsbestimmungen nur sehr wenig durchfahren sollen, öfter benutzt werden. Vor allem durch die geplante, neue Lage der Additiv-Aufbereitung neben den Reststoffen können sehr lange Transportwege reduziert werden.
- Aufgrund der somit geringeren Transportintensitäten wird Stapler 4, der für Springer-Dienste eingesetzt wird, nicht mehr benötigt.
- Durch eine Automatisierung der Belieferung der Mischhalle mit Großgebinder-Fässern kann Stapler 3 ersetzt werden. Für diese Tätigkeit sind beispielsweise Fahrerlose Transportsysteme geeignet. Ein anderer Lösungsansatz ist die Anlieferung der Fässer nach dem Just-in-Time Prinzip durch den Lieferanten.

5.5.3 Fazit

Das Fazit bezüglich der Anwendung des neuen Auswertungstools „ToCV“ ist überwiegend positiv. Das Tool hat über den gesamten Beobachtungszeitraum Daten ohne Absturz, Fehlermeldung oder Datenverlust aufbereitet, ausgewertet und visualisiert. Nach dem Datenexport wurden die Ergebnisse mittels der alten „Microsoft Excel“-basierten Auswertungsmethode überprüft. Dabei wurden keine Abweichungen festgestellt. Daher kann von einer korrekten Datenauswertung ausgegangen werden.

Ein besonders positives Merkmal ist die Zeitersparnis der neuen Methode. Bei der Auswertung mittels der alten Methode wurden zwei Stunden für die Adaptierung der Excel-Vorlage benötigt. Danach dauerte es rund drei Stunde, für jeden Gabelstapler

auszuwerten. Das heißt, dass die gesamte Auswertung mit der alten Methode rund vierzehn Stunden dauerte. Danach hätte die Erstellung von CSV-Dateien, die dem geforderten Format von „visTABLE@touch“ entsprechen, erfolgen müssen, was zusätzlichen Zeitbedarf bedeutet hätte. Bei der neuen Datenauswertung standen die bereinigten, ausgewerteten Daten laufend und ohne Zeitaufwand für den Benutzer zur Verfügung. Dabei ist jedoch negativ anzumerken, dass der Daten-Export mit steigender Datenmenge immer länger dauerte. Daher ist die Steigerung der Performance beim Daten-Export eine wesentliche Verbesserung des Auswertungstools. Der finale Datenexport benötigte etwa eine Stunde. Das heißt, dass bei diesem Fallbeispiel in Summe über zwölf Stunden Zeitersparnis für die Bereinigung und Auswertung der Daten erreicht wurde.

Darüber hinaus konnte der Abbau von Schnittstellen erfolgreich realisiert werden, da nur mehr „ToCV“ und bei Bedarf „visTABLE@touch“ für die Materialflussanalyse verwendet wurden. Das Einlesen der Daten zur Visualisierung in „visTABLE@touch“ funktionierte ohne Probleme. Da die Tabellen nach dem richtigen Format aufgebaut waren, musste keine zusätzliche Aufbereitung erfolgen.

Durch die laufende Echtzeit-Visualisierung konnte die Kommunikation mit der Geschäftsführung des Unternehmens deutlich verbessert werden, da nicht nur bei Zwischen- oder Abschlusspräsentationen, sondern täglich, Ergebnisse besprochen werden konnten. Hier hätte sich die Echtzeit-Visualisierung mittels eines Sankey-Diagramms mit hinterlegtem Layout auch als förderlich erwiesen. Die Integration dieser Visualisierungsform stellt ein weiteres Verbesserungspotential dar.

Das Finden der optimalen Parameter für die Auswertung war aufgrund der ersten Anwendung des Tools anfangs recht schwierig. Nach wenigen Versuchen konnten die optimalen Parameter aber relativ schnell gefunden werden. Positiv auf das Auswertungsergebnis hat sich die Repeater-Kontrolle erwiesen. Durch diese Funktion wurden Ausfälle von Repeatern erkannt. Diese konnten durch die mitgesendeten Anleitungen zum Beheben des Ausfalls einfach behoben werden, damit keinerlei Verzerrungen der Messergebnisse auftraten. Für zukünftige Projekte ist der Einsatz alternativer Energiequellen aber ratsam, damit Ausfälle bereits durch bessere Hardware ausgeschlossen werden können.

6 Auswertung und Resultate

In diesem Kapitel werden Resultate dieser Diplomarbeit bezüglich der angewandten Methode, der Problemstellung und der Forschungsfragen erläutert. Abschließend wird ein Ausblick bezüglich potentieller, zukünftiger Forschungsvorhaben gegeben.

6.1 Resultate

Anhand der State-of-the-Art Literaturrecherche konnten verschiedene Methoden zur Optimierung innerbetrieblicher Materialflüsse mittels RFID aufgezeigt werden. Diese Trackinglösungen sind immer stationär in Betrieben verbaut und werden meistens nur punktuell auf bestimmte Analysen ausgerichtet. Grundsätzlich kann zwischen dem Untersuchen von Transportmitteln und Gütern unterschieden werden. Für die Analyse von Güterströmen werden in der Regel passive RFID-Komponenten verwendet. Dagegen dienen aktive RFID-Systeme der Identifizierung von Transportmitteln.

Hierzu gibt es verschiedene Möglichkeiten der Lokalisierung. So verwenden Chai et al.²⁰² und Wang et al.²⁰³ aktive Referenz-Tags, die zur Lokalisierung der Flurförderzeuge dienen. Hiermit werden die Arbeitssicherheit und die Produktivität von Unternehmen erhöht. Größter Nachteil dieser Methode ist, dass für den Aufbau des RFID-Systems der gesamte Betrieb gestoppt werden muss. Arkan²⁰⁴ und Burinskiene²⁰⁵ beschreiben ein RTLS, bei denen Reader stationär aufgebaut werden. Die Reader zeichnen aktive Tags auf, die am Transportmittel befestigt sind. Mittels der Methode von Arkan²⁰⁶ können Flurförderzeuge in Echtzeit lokalisiert werden. Diverse unternehmensspezifische Störgrößen führen hierbei aber zu keinen aussagekräftigen Ergebnissen. Dies zeigt die Notwendigkeit gezielter Datenaufbereitung auf.

Dem gegenüber, weist die aktive, temporäre RFID-Trackinglösung von Fraunhofer Austria hohe Flexibilität auf, die den Einsatz dieses Systems in verschiedensten Unternehmen zulässt. Durch das eigene Netzwerk und die eigene Energieversorgung der RFID-Komponenten ist kein Eingriff in die bestehende Infrastruktur von Unternehmen notwendig. Dadurch muss beim Aufbau dieser Methode die Produktion nicht gestoppt werden. Bei dieser Trackinglösung werden Gabelstapler mit aktiven RFID-Tags ausgestattet. An wichtigen Umschlagstellen werden Repeater stationär aufgebaut, die die generierten Daten bezüglich

²⁰² vgl. Chai et al., 2017, S.2ff.

²⁰³ vgl. Wang et al., 2014, S.165ff.

²⁰⁴ vgl. Arkan, 2015, S.53ff.

²⁰⁵ vgl. Burinskiene, 2015, S.622f.

²⁰⁶ vgl. Arkan, 2015, S.53ff.

identifizierter Tags über Netzwerkantennen zu einem Leitrechner mit Datenbank übermitteln.

Um die Effizienz der temporären, aktiven RFID-Trackinglösung zu verbessern, wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit eine neue, vereinfachte Datenauswertungsmethode entwickelt. Das dabei entstandene Auswertungstool „ToCV“ (Tool for Calculation and Visualisation of Material Flows) weist diverse Verbesserungen gegenüber der alten „Microsoft Excel“ basierten Methode auf.

Ein wesentliches Merkmal ist hierzu die Reduktion des Zeitaufwandes durch den Abbau von Datenschnittstellen für die Bereinigung und Auswertung der RFID-generierten Daten. Mittels verschiedener Einstellungsoptionen kann das Auswertungstool „ToCV“ an unternehmensspezifische Anforderungen angepasst werden, um optimale Ergebnisse erzielen zu können. Weiters dient die benutzerfreundliche Oberfläche des Tools zur Erhöhung der Datenqualität, da somit durch den Benutzer verfälschte Auswertungen vermieden werden können. Außerdem konnte mittels der Schaffung von Echtzeit-Analysen und Echtzeit-Visualisierungen die Interaktion zwischen Projektpartnern wesentlich gesteigert werden.

Im Rahmen des Fallbeispiels in der Chemieindustrie konnte gezeigt werden, dass die Effizienz der Trackinglösung durch den Einsatz der neuen Auswertungsmethode gesteigert werden konnte. Dem analysierten Unternehmen wurden trotz fehlender Buchungsdaten Optimierungen bezüglich des Transportaufkommens der Gabelstapler, die Reduktion der Materialflusskosten sowie Transparenz bezüglich der intralogistischen Prozesse des Unternehmens aufgezeigt.

Zusammenfassend kann zur Beantwortung der Forschungsfragen festgestellt werden, dass durch den Einsatz von RFID, Materialflüsse optimiert werden können und dass die Effizienz der aktiven, temporären RFID-Trackinglösung durch die im Rahmen der Diplomarbeit neu entwickelte Auswertungsmethode verbessert werden konnte.

6.2 Ausblick

Für zukünftige Forschungsvorhaben wäre die Kombination der präsentierten aktiven, temporären Trackinglösung mit weiterer Sensorik interessant. Anhand von Gesprächen mit der Geschäftsleitung des im Fallbeispiel untersuchten Unternehmens wurde die Möglichkeit nach Auswertungen bezüglich des Beladungszustands der Gabelstapler diskutiert. Dazu wäre die Integration zusätzlicher Sensorik in die bestehende Auswertungsmethode erforderlich. Weiters wäre interessant die Integration der passiven RFID-Technologie in das bestehende

System zu erforschen. Dadurch könnten wie bei Burinskiene ²⁰⁷ auch die transportierten Güter mit den Transportfahrzeugen verknüpft werden. Dies könnte mittels einer temporären, passiven Trackinglösung z. B. durch mobile RFID-Gates und passiven Tags an den Gütern oder Paletten erfolgen.

Weiters könnte die präsentierte Trackingmethode zu einem RTLS weiterentwickelt werden, damit Fahrzeuge, Menschen oder Werkzeuge nicht nur an Quellen und Senken, sondern im gesamten Fabriklayout in Echtzeit identifiziert werden können.

Die im Rahmen der State-of-the-Art Literaturrecherche beschriebenen Fallbeispiele zeigen, dass viele RFID-Trackinglösungen aufgrund unternehmensspezifischer Störgrößen qualitativ schlechte Messergebnisse erzielen, obwohl das System unter Laborbedingungen funktioniert. Daher sollte ein Vorgehensmodell erforscht werden, um das optimale Trackingsystem für die verschiedenen Unternehmensrandbedingungen aus einem Pool von Auto-ID Technologien ausgewählt und implementiert werden kann.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die präsentierte Forschung im Rahmen dieser Diplomarbeit bereits gute Ergebnisse erzielt hat und durch die Einbeziehung zusätzlicher Technologien noch größere Verbesserungspotentiale erzielt werden können.

²⁰⁷ vgl. Burinskiene, 2015, S.622f.

7 Anhang

7.1 Experteninterview

Zur Informationseinholung bezüglich der temporären, aktiven RFID-Trackinglösung von Fraunhofer Austria wurde am 01.08.2018 folgendes Experteninterview mit Dipl.-Ing. Rainer Pascher durchgeführt:

Einleitung

Begrüßung und Danksagung

Ich möchte dich zu unserem Experteninterview recht herzlich begrüßen und dir danken, dass du dir Zeit nimmst, dieses Interview mit mir durchzuführen.

Inhalt des Interviews

Im Rahmen dieses Interviews möchte ich dich über die von Fraunhofer Austria entwickelte RFID-Trackinglösung bezüglich der aktuell verwendeten Hard- und Software sowie deren Zusammenspiel und möglicher Optimierungspotentiale der Auswertungsmethode befragen.

Zeitraumen

Für das Interview werden in etwa 30 Minuten benötigt.

Fragen zu der temporären, aktiven RFID-Trackinglösung

- Wozu entwickelte Fraunhofer Austria diese temporäre, aktive RFID-Trackinglösung?

Vielen Unternehmen haben keine Transparenz über ihre Prozesse. Die für Analysen benötigten Datensätze fehlen oft oder sie sind verfälscht. Deshalb hat Fraunhofer Austria diese temporäre, aktive RFID-Trackinglösung entwickelt. Dadurch ist es uns möglich, über einen Zeitraum von zwei bis vier Wochen Daten zu generieren, damit wir korrekte Materialflussanalysen durchführen können.

- Welche Hard- und Software-Komponenten werden dazu verwendet?

Bei diesem System werden hardwareseitig ein Leitrechner, ein WLAN-Router, Netzwerkantennen sowie RFID-Repeater und RFID-Tags eingesetzt. Als Software verwenden wir einen Webserver, „Microsoft Excel“ zur Datenaufbereitung und „visTABLE@touch“ zur Visualisierung der Messergebnisse.

Fragen zu der verwendeten Hardware

- Welche Voraussetzungen muss der Leitreechner besitzen?

Eigentlich gibt es keine wirklichen Voraussetzungen. Grundsätzlich muss der Laptop das Betriebssystem „Microsoft Windows XP“ oder höher und Internetfähigkeit vorweisen. Dadurch kann die benötigte Software auf dem Laptop installiert werden.

- Wozu dient der WLAN-Router?

Wir verwenden ein eigenes WLAN-Netzwerk, damit unser System nicht in den laufenden Betrieb des Unternehmens eingreift. Dadurch schaffen wir Flexibilität und verbesserte Empfangsstärken. Der WLAN-Router baut also das WLAN-Netzwerk auf, das als Schnittstelle zwischen den RFID-Komponenten und dem Leitreechner dient. Bei sehr großen Reichweiten können ergänzend WLAN-Repeater verwendet werden.

- Was ist die Aufgabe der Netzwerkantenne?

Die Netzwerkantennen verbinden das WLAN-Netzwerk mit dem RFID-Netzwerk. Sie empfangen die UHF Signale mit einer Frequenz von 868 MHz und schicken diese über Ethernet oder über WLAN-Clients und WLAN zum Leitreechner.

- Welche RFID-Komponenten werden für dieses System verwendet und wozu dienen diese?

Grundsätzlich können die verwendeten RFID-Komponenten zur Ortung von Objekten, Fahrzeugen oder Personen eingesetzt werden. Mit Repeatern werden Räume, Bereiche oder Umschlagorte ausgestattet. Sie empfangen die beweglichen Tags. Danach leiten die Repeater diese Signale an die Netzwerkantenne weiter. Tags werden an Fahrzeugen, Personen oder Werkzeugen angebracht und senden im vorgegebenen Takt ein Signal aus. Befindet sich ein Tag in der Nähe eines Repeaters, erkennt dieser den Tag und schickt das Signal weiter.

- Wie können die RFID-Komponenten konfiguriert werden?

Der Micro-USB-Anschluss der Komponenten dient zur Konfiguration. So können zum Beispiel die Identifikationsnummer, die Betriebsart, die Sende- und Empfangsstärke in Dezibel und das Sende-Intervall eingestellt werden. Durch die Variation dieser Parameter kann die Reichweite der Komponenten von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern verändert werden. Dadurch können die idealen Bedingungen für verschiedene Einsätze erzielt werden.

- Wie erfolgen die Stromversorgung und die Befestigung der RFID-Komponenten beim Aufbau der Trackinglösung?

Die Netzwerkantennen werden mittels „Power over Ethernet“ Adapter oder mittels Batterie mit Strom versorgt und sind meist in Büroräumlichkeiten aufgebaut. Die Stromversorgung der Repeater erfolgt mittels Batterie oder Netzteil und Steckdose. Befestigt werden sie an den wichtigsten Umschlagsplätzen mit Kabelbindern, Klebebändern oder ausklappbarem Stativ. Tags werden mit Knopfzellen des Typs CR 2032 versorgt. Sie sind mit Kabelbindern oder Klebebändern an den Staplern angebracht.

Fragen zu der verwendeten Software

- Wofür wird der Webserver benötigt?

Der Webserver wird zur Positionsbestimmung der Tags verwendet. In einer graphischen Oberfläche, in die Antennen und Repeater eingezeichnet sind, wird die aktuelle Position der Tags angezeigt. Erreichbar ist der Webserver mit Internetbrowsern unter „localhost“. Er bietet auch eine Sabotage-Funktion, damit Benutzer kontrollieren können, ob Tags und Repeater aktiv sind. So können zum Beispiel Ausfälle erkannt werden. Weiters können hier Tags, Repeater, Karten und Objekte verwaltet und in der Datenbank gespeichert werden.

- Wie werden die generierten RFID-Daten gespeichert?

Die generierten Daten werden am Leitreechner in eine SQL-Datenbank gespeichert. Jeder Datensatz beinhaltet einen Zeitstempel, die Tag-ID, die Repeater-ID, die Antennen-ID und die Empfangsqualität.

- Wie erfolgt die Datenaufbereitung in „Microsoft Excel“?

Zur Auswertung der Daten werden die Datensätze der Datenbank in ein CSV-File gespeichert. Mit „Microsoft Excel“ werden diese Daten aufbereitet und ausgewertet. Dazu wurde eine Excel-Vorlage erstellt, in die der Daten-Export kopiert wird. Fehlmessungen werden darin bereinigt. Zuerst erfolgt die Korrektur der Zeitstempel, da die Daten in einer anderen Zeitzone aufgezeichnet werden. Danach wird in einer Pivot-Tabelle ein Tag ausgewählt. Dann folgt die Datenaufbereitung für diesen Tag in verschiedenen Tabellenblättern, in die die Datensätze jeweils kopiert werden. Im ersten Tabellenblatt werden Datensätze gelöscht, deren Zeitstempel innerhalb einer Sekunde liegen und trotzdem unterschiedliche Repeater-IDs haben. Gelöscht wird der Datensatz mit der geringsten Empfangsstärke. Nach dem Löschen wird dieser Vorgang zur Kontrolle erneut durchgeführt. Danach werden Daten

untersucht, die innerhalb von sechs Sekunden liegen und zuerst Repeater A, dann Repeater B und zuletzt erneut Repeater A aufweisen. Tritt dies ein, wird der mittlere Repeater gelöscht, wenn die Empfangsstärke unter 78 Dezibel liegt. Dann ist die Bereinigung der Daten abgeschlossen und Transportintensitäten und Verweildauern können in weiteren Tabellen berechnet werden.

- Wie werden die bereinigten Daten visualisiert?

Visualisiert werden die Transporte mit der Software „visTABLE®touch“. Quellen und Senken sowie das Transportnetz werden in das Fabriklayout eingezeichnet. Die berechneten Intensitäten und Verweildauern werden als CSV-Files importiert. Transportintensitäten werden als Materialflüsse und Verweildauern durch die unterschiedlich große Darstellung der Quellen und Senken visualisiert. Danach werden mit „visTABLE®touch“ Distanz-Intensitäts-Diagramme erstellt.

Fragen zu möglichen Optimierungspotentialen

- Welche Optimierungspotentiale der Auswertungsmethode siehst du?

Da würde mir die Reduktion des Zeitaufwands einfallen, sowohl bei der Auswertung als auch bei der Überwachung des Systems. Die Vereinfachung der Datenauswertung wäre auch sehr wichtig. Außerdem wären Echtzeit-Auswertungen sehr interessant.

Abschluss

Ich danke dir für deine Zeit und das konstruktive Interview und wünsche dir noch einen angenehmen Tag.

7.2 Ermittelte Transportintensitäten des Fallbeispiels

Quelle	Senke	Intensität	Netz	Farbe	Quelle	Senke	Intensität	Netz	Farbe	Quelle	Senke	Intensität	Netz	Farbe
200	215	3	301	RGB(255,0,0)	205	215	0	301	RGB(255,0,0)	210	215	0	301	RGB(255,0,0)
200	201	0	301	RGB(255,0,0)	205	206	26	301	RGB(255,0,0)	210	211	48	301	RGB(255,0,0)
200	202	15	301	RGB(255,0,0)	205	207	25	301	RGB(255,0,0)	210	212	20	301	RGB(255,0,0)
200	203	0	301	RGB(255,0,0)	205	208	4	301	RGB(255,0,0)	210	213	2	301	RGB(255,0,0)
200	204	0	301	RGB(255,0,0)	205	209	2	301	RGB(255,0,0)	210	214	1	301	RGB(255,0,0)
200	205	2	301	RGB(255,0,0)	205	210	0	301	RGB(255,0,0)	211	200	0	301	RGB(255,0,0)
200	206	0	301	RGB(255,0,0)	205	211	0	301	RGB(255,0,0)	211	201	0	301	RGB(255,0,0)
200	207	2	301	RGB(255,0,0)	205	212	0	301	RGB(255,0,0)	211	202	0	301	RGB(255,0,0)
200	208	0	301	RGB(255,0,0)	205	213	0	301	RGB(255,0,0)	211	203	0	301	RGB(255,0,0)
200	209	0	301	RGB(255,0,0)	205	214	0	301	RGB(255,0,0)	211	204	0	301	RGB(255,0,0)
200	210	0	301	RGB(255,0,0)	206	200	0	301	RGB(255,0,0)	211	205	1	301	RGB(255,0,0)
200	211	0	301	RGB(255,0,0)	206	201	0	301	RGB(255,0,0)	211	206	0	301	RGB(255,0,0)
200	212	0	301	RGB(255,0,0)	206	202	0	301	RGB(255,0,0)	211	207	0	301	RGB(255,0,0)
200	213	0	301	RGB(255,0,0)	206	203	1	301	RGB(255,0,0)	211	208	3	301	RGB(255,0,0)
200	214	0	301	RGB(255,0,0)	206	204	0	301	RGB(255,0,0)	211	209	16	301	RGB(255,0,0)
201	200	1	301	RGB(255,0,0)	206	205	12	301	RGB(255,0,0)	211	210	38	301	RGB(255,0,0)
201	215	2	301	RGB(255,0,0)	206	215	0	301	RGB(255,0,0)	211	215	0	301	RGB(255,0,0)
201	202	12	301	RGB(255,0,0)	206	207	21	301	RGB(255,0,0)	211	212	48	301	RGB(255,0,0)
201	203	0	301	RGB(255,0,0)	206	208	3	301	RGB(255,0,0)	211	213	0	301	RGB(255,0,0)
201	204	2	301	RGB(255,0,0)	206	209	1	301	RGB(255,0,0)	211	214	0	301	RGB(255,0,0)
201	205	0	301	RGB(255,0,0)	206	210	0	301	RGB(255,0,0)	212	200	0	301	RGB(255,0,0)
201	206	0	301	RGB(255,0,0)	206	211	0	301	RGB(255,0,0)	212	201	0	301	RGB(255,0,0)
201	207	0	301	RGB(255,0,0)	206	212	0	301	RGB(255,0,0)	212	202	0	301	RGB(255,0,0)
201	208	0	301	RGB(255,0,0)	206	213	0	301	RGB(255,0,0)	212	203	0	301	RGB(255,0,0)
201	209	0	301	RGB(255,0,0)	206	214	0	301	RGB(255,0,0)	212	204	0	301	RGB(255,0,0)
201	210	0	301	RGB(255,0,0)	207	200	1	301	RGB(255,0,0)	212	205	0	301	RGB(255,0,0)
201	211	0	301	RGB(255,0,0)	207	201	0	301	RGB(255,0,0)	212	206	0	301	RGB(255,0,0)
201	212	0	301	RGB(255,0,0)	207	202	0	301	RGB(255,0,0)	212	207	0	301	RGB(255,0,0)
201	213	0	301	RGB(255,0,0)	207	203	1	301	RGB(255,0,0)	212	208	5	301	RGB(255,0,0)
201	214	1	301	RGB(255,0,0)	207	204	0	301	RGB(255,0,0)	212	209	1	301	RGB(255,0,0)
202	200	15	301	RGB(255,0,0)	207	205	20	301	RGB(255,0,0)	212	210	18	301	RGB(255,0,0)
202	201	9	301	RGB(255,0,0)	207	206	9	301	RGB(255,0,0)	212	211	50	301	RGB(255,0,0)
202	215	0	301	RGB(255,0,0)	207	215	0	301	RGB(255,0,0)	212	215	0	301	RGB(255,0,0)
202	203	9	301	RGB(255,0,0)	207	208	31	301	RGB(255,0,0)	212	213	12	301	RGB(255,0,0)
202	204	2	301	RGB(255,0,0)	207	209	6	301	RGB(255,0,0)	212	214	8	301	RGB(255,0,0)
202	205	7	301	RGB(255,0,0)	207	210	0	301	RGB(255,0,0)	213	200	0	301	RGB(255,0,0)
202	206	1	301	RGB(255,0,0)	207	211	0	301	RGB(255,0,0)	213	201	0	301	RGB(255,0,0)
202	207	1	301	RGB(255,0,0)	207	212	0	301	RGB(255,0,0)	213	202	0	301	RGB(255,0,0)
202	208	0	301	RGB(255,0,0)	207	213	1	301	RGB(255,0,0)	213	203	0	301	RGB(255,0,0)
202	209	0	301	RGB(255,0,0)	207	214	0	301	RGB(255,0,0)	213	204	0	301	RGB(255,0,0)
202	210	0	301	RGB(255,0,0)	208	200	0	301	RGB(255,0,0)	213	205	0	301	RGB(255,0,0)
202	211	0	301	RGB(255,0,0)	208	201	0	301	RGB(255,0,0)	213	206	0	301	RGB(255,0,0)
202	212	0	301	RGB(255,0,0)	208	202	0	301	RGB(255,0,0)	213	207	0	301	RGB(255,0,0)
202	213	0	301	RGB(255,0,0)	208	203	0	301	RGB(255,0,0)	213	208	16	301	RGB(255,0,0)
202	214	0	301	RGB(255,0,0)	208	204	0	301	RGB(255,0,0)	213	209	7	301	RGB(255,0,0)
203	200	0	301	RGB(255,0,0)	208	205	20	301	RGB(255,0,0)	213	210	2	301	RGB(255,0,0)
203	201	0	301	RGB(255,0,0)	208	206	1	301	RGB(255,0,0)	213	211	0	301	RGB(255,0,0)
203	202	8	301	RGB(255,0,0)	208	207	16	301	RGB(255,0,0)	213	212	8	301	RGB(255,0,0)
203	215	0	301	RGB(255,0,0)	208	215	0	301	RGB(255,0,0)	213	215	0	301	RGB(255,0,0)
203	204	3	301	RGB(255,0,0)	208	209	44	301	RGB(255,0,0)	213	214	37	301	RGB(255,0,0)
203	205	8	301	RGB(255,0,0)	208	210	11	301	RGB(255,0,0)	214	200	0	301	RGB(255,0,0)
203	206	0	301	RGB(255,0,0)	208	211	1	301	RGB(255,0,0)	214	201	1	301	RGB(255,0,0)
203	207	0	301	RGB(255,0,0)	208	212	2	301	RGB(255,0,0)	214	202	1	301	RGB(255,0,0)
203	208	0	301	RGB(255,0,0)	208	213	17	301	RGB(255,0,0)	214	203	0	301	RGB(255,0,0)
203	209	0	301	RGB(255,0,0)	208	214	16	301	RGB(255,0,0)	214	204	0	301	RGB(255,0,0)
203	210	0	301	RGB(255,0,0)	209	200	0	301	RGB(255,0,0)	214	205	0	301	RGB(255,0,0)
203	211	0	301	RGB(255,0,0)	209	201	0	301	RGB(255,0,0)	214	206	0	301	RGB(255,0,0)
203	212	0	301	RGB(255,0,0)	209	202	0	301	RGB(255,0,0)	214	207	0	301	RGB(255,0,0)
203	213	0	301	RGB(255,0,0)	209	203	0	301	RGB(255,0,0)	214	208	15	301	RGB(255,0,0)
203	214	0	301	RGB(255,0,0)	209	204	0	301	RGB(255,0,0)	214	209	0	301	RGB(255,0,0)
204	200	1	301	RGB(255,0,0)	209	205	5	301	RGB(255,0,0)	214	210	1	301	RGB(255,0,0)
204	201	5	301	RGB(255,0,0)	209	206	1	301	RGB(255,0,0)	214	211	0	301	RGB(255,0,0)
204	202	3	301	RGB(255,0,0)	209	207	4	301	RGB(255,0,0)	214	212	11	301	RGB(255,0,0)
204	203	0	301	RGB(255,0,0)	209	208	44	301	RGB(255,0,0)	214	213	34	301	RGB(255,0,0)
204	215	1	301	RGB(255,0,0)	209	215	0	301	RGB(255,0,0)	214	215	19	301	RGB(255,0,0)
204	205	2	301	RGB(255,0,0)	209	210	49	301	RGB(255,0,0)	215	200	3	301	RGB(255,0,0)
204	206	0	301	RGB(255,0,0)	209	211	7	301	RGB(255,0,0)	215	201	2	301	RGB(255,0,0)
204	207	0	301	RGB(255,0,0)	209	212	14	301	RGB(255,0,0)	215	202	0	301	RGB(255,0,0)
204	208	0	301	RGB(255,0,0)	209	213	4	301	RGB(255,0,0)	215	203	0	301	RGB(255,0,0)
204	209	0	301	RGB(255,0,0)	209	214	1	301	RGB(255,0,0)	215	204	0	301	RGB(255,0,0)
204	210	0	301	RGB(255,0,0)	210	200	0	301	RGB(255,0,0)	215	205	0	301	RGB(255,0,0)
204	211	0	301	RGB(255,0,0)	210	201	0	301	RGB(255,0,0)	215	206	0	301	RGB(255,0,0)
204	212	0	301	RGB(255,0,0)	210	202	0	301	RGB(255,0,0)	215	207	0	301	RGB(255,0,0)
204	213	0	301	RGB(255,0,0)	210	203	0	301	RGB(255,0,0)	215	208	0	301	RGB(255,0,0)
204	214	0	301	RGB(255,0,0)	210	204	0	301	RGB(255,0,0)	215	209	0	301	RGB(255,0,0)
205	200	1	301	RGB(255,0,0)	210	205	0	301	RGB(255,0,0)	215	210	0	301	RGB(255,0,0)
205	201	1	301	RGB(255,0,0)	210	206	0	301	RGB(255,0,0)	215	211	0	301	RGB(255,0,0)
205	202	5	301	RGB(255,0,0)	210	207	0	301	RGB(255,0,0)	215	212	0	301	RGB(255,0,0)
205	203	8	301	RGB(255,0,0)	210	208	7	301	RGB(255,0,0)	215	213	0	301	RGB(255,0,0)
205	204	5	301	RGB(255,0,0)	210	209	41	301	RGB(255,0,0)	215	214	20	301	RGB(255,0,0)

Tabelle 7: Transportintensitäten (Repeater) Stapler 1

Quelle	Senke	Intensitaet	Netz	Farbe	Quelle	Senke	Intensitaet	Netz	Farbe	Quelle	Senke	Intensitaet	Netz	Farbe
200	215	0	303	RGB(0,102,255)	205	215	0	303	RGB(0,102,255)	210	215	0	303	RGB(0,102,255)
200	201	4	303	RGB(0,102,255)	205	206	21	303	RGB(0,102,255)	210	211	68	303	RGB(0,102,255)
200	202	21	303	RGB(0,102,255)	205	207	40	303	RGB(0,102,255)	210	212	2	303	RGB(0,102,255)
200	203	0	303	RGB(0,102,255)	205	208	0	303	RGB(0,102,255)	210	213	1	303	RGB(0,102,255)
200	204	2	303	RGB(0,102,255)	205	209	0	303	RGB(0,102,255)	210	214	0	303	RGB(0,102,255)
200	205	1	303	RGB(0,102,255)	205	210	4	303	RGB(0,102,255)	211	200	0	303	RGB(0,102,255)
200	206	0	303	RGB(0,102,255)	205	211	0	303	RGB(0,102,255)	211	201	0	303	RGB(0,102,255)
200	207	2	303	RGB(0,102,255)	205	212	0	303	RGB(0,102,255)	211	202	0	303	RGB(0,102,255)
200	208	0	303	RGB(0,102,255)	205	213	0	303	RGB(0,102,255)	211	203	0	303	RGB(0,102,255)
200	209	0	303	RGB(0,102,255)	205	214	0	303	RGB(0,102,255)	211	204	0	303	RGB(0,102,255)
200	210	0	303	RGB(0,102,255)	206	200	0	303	RGB(0,102,255)	211	205	1	303	RGB(0,102,255)
200	211	0	303	RGB(0,102,255)	206	201	0	303	RGB(0,102,255)	211	206	0	303	RGB(0,102,255)
200	212	0	303	RGB(0,102,255)	206	202	0	303	RGB(0,102,255)	211	207	0	303	RGB(0,102,255)
200	213	0	303	RGB(0,102,255)	206	203	2	303	RGB(0,102,255)	211	208	3	303	RGB(0,102,255)
200	214	1	303	RGB(0,102,255)	206	204	0	303	RGB(0,102,255)	211	209	47	303	RGB(0,102,255)
201	200	5	303	RGB(0,102,255)	206	205	20	303	RGB(0,102,255)	211	210	31	303	RGB(0,102,255)
201	215	5	303	RGB(0,102,255)	206	215	0	303	RGB(0,102,255)	211	215	0	303	RGB(0,102,255)
201	202	7	303	RGB(0,102,255)	206	207	25	303	RGB(0,102,255)	211	212	29	303	RGB(0,102,255)
201	203	0	303	RGB(0,102,255)	206	208	1	303	RGB(0,102,255)	211	213	0	303	RGB(0,102,255)
201	204	5	303	RGB(0,102,255)	206	209	0	303	RGB(0,102,255)	211	214	3	303	RGB(0,102,255)
201	205	1	303	RGB(0,102,255)	206	210	0	303	RGB(0,102,255)	212	200	0	303	RGB(0,102,255)
201	206	0	303	RGB(0,102,255)	206	211	0	303	RGB(0,102,255)	212	201	0	303	RGB(0,102,255)
201	207	1	303	RGB(0,102,255)	206	212	0	303	RGB(0,102,255)	212	202	0	303	RGB(0,102,255)
201	208	0	303	RGB(0,102,255)	206	213	0	303	RGB(0,102,255)	212	203	0	303	RGB(0,102,255)
201	209	0	303	RGB(0,102,255)	206	214	0	303	RGB(0,102,255)	212	204	0	303	RGB(0,102,255)
201	210	0	303	RGB(0,102,255)	207	200	0	303	RGB(0,102,255)	212	205	0	303	RGB(0,102,255)
201	211	0	303	RGB(0,102,255)	207	201	0	303	RGB(0,102,255)	212	206	0	303	RGB(0,102,255)
201	212	0	303	RGB(0,102,255)	207	202	1	303	RGB(0,102,255)	212	207	0	303	RGB(0,102,255)
201	213	0	303	RGB(0,102,255)	207	203	0	303	RGB(0,102,255)	212	208	2	303	RGB(0,102,255)
201	214	1	303	RGB(0,102,255)	207	204	0	303	RGB(0,102,255)	212	209	1	303	RGB(0,102,255)
202	200	19	303	RGB(0,102,255)	207	205	34	303	RGB(0,102,255)	212	210	0	303	RGB(0,102,255)
202	201	7	303	RGB(0,102,255)	207	206	15	303	RGB(0,102,255)	212	211	30	303	RGB(0,102,255)
202	215	0	303	RGB(0,102,255)	207	215	0	303	RGB(0,102,255)	212	215	0	303	RGB(0,102,255)
202	203	13	303	RGB(0,102,255)	207	208	49	303	RGB(0,102,255)	212	213	8	303	RGB(0,102,255)
202	204	3	303	RGB(0,102,255)	207	209	9	303	RGB(0,102,255)	212	214	4	303	RGB(0,102,255)
202	205	6	303	RGB(0,102,255)	207	210	0	303	RGB(0,102,255)	213	200	0	303	RGB(0,102,255)
202	206	1	303	RGB(0,102,255)	207	211	0	303	RGB(0,102,255)	213	201	0	303	RGB(0,102,255)
202	207	7	303	RGB(0,102,255)	207	212	0	303	RGB(0,102,255)	213	202	0	303	RGB(0,102,255)
202	208	0	303	RGB(0,102,255)	207	213	0	303	RGB(0,102,255)	213	203	0	303	RGB(0,102,255)
202	209	0	303	RGB(0,102,255)	207	214	0	303	RGB(0,102,255)	213	204	0	303	RGB(0,102,255)
202	210	0	303	RGB(0,102,255)	208	200	0	303	RGB(0,102,255)	213	205	0	303	RGB(0,102,255)
202	211	0	303	RGB(0,102,255)	208	201	0	303	RGB(0,102,255)	213	206	0	303	RGB(0,102,255)
202	212	0	303	RGB(0,102,255)	208	202	0	303	RGB(0,102,255)	213	207	0	303	RGB(0,102,255)
202	213	0	303	RGB(0,102,255)	208	203	2	303	RGB(0,102,255)	213	208	36	303	RGB(0,102,255)
202	214	1	303	RGB(0,102,255)	208	204	0	303	RGB(0,102,255)	213	209	3	303	RGB(0,102,255)
203	200	1	303	RGB(0,102,255)	208	205	18	303	RGB(0,102,255)	213	210	1	303	RGB(0,102,255)
203	201	0	303	RGB(0,102,255)	208	206	4	303	RGB(0,102,255)	213	211	0	303	RGB(0,102,255)
203	202	14	303	RGB(0,102,255)	208	207	27	303	RGB(0,102,255)	213	212	10	303	RGB(0,102,255)
203	215	0	303	RGB(0,102,255)	208	215	0	303	RGB(0,102,255)	213	215	0	303	RGB(0,102,255)
203	204	4	303	RGB(0,102,255)	208	209	70	303	RGB(0,102,255)	213	214	42	303	RGB(0,102,255)
203	205	9	303	RGB(0,102,255)	208	210	19	303	RGB(0,102,255)	214	200	1	303	RGB(0,102,255)
203	206	4	303	RGB(0,102,255)	208	211	3	303	RGB(0,102,255)	214	201	2	303	RGB(0,102,255)
203	207	1	303	RGB(0,102,255)	208	212	0	303	RGB(0,102,255)	214	202	0	303	RGB(0,102,255)
203	208	0	303	RGB(0,102,255)	208	213	32	303	RGB(0,102,255)	214	203	0	303	RGB(0,102,255)
203	209	0	303	RGB(0,102,255)	208	214	23	303	RGB(0,102,255)	214	204	0	303	RGB(0,102,255)
203	210	0	303	RGB(0,102,255)	209	200	0	303	RGB(0,102,255)	214	205	0	303	RGB(0,102,255)
203	211	0	303	RGB(0,102,255)	209	201	0	303	RGB(0,102,255)	214	206	0	303	RGB(0,102,255)
203	212	0	303	RGB(0,102,255)	209	202	0	303	RGB(0,102,255)	214	207	0	303	RGB(0,102,255)
203	213	0	303	RGB(0,102,255)	209	203	0	303	RGB(0,102,255)	214	208	20	303	RGB(0,102,255)
203	214	0	303	RGB(0,102,255)	209	204	0	303	RGB(0,102,255)	214	209	0	303	RGB(0,102,255)
204	200	3	303	RGB(0,102,255)	209	205	5	303	RGB(0,102,255)	214	210	2	303	RGB(0,102,255)
204	201	7	303	RGB(0,102,255)	209	206	3	303	RGB(0,102,255)	214	211	3	303	RGB(0,102,255)
204	202	6	303	RGB(0,102,255)	209	207	4	303	RGB(0,102,255)	214	212	2	303	RGB(0,102,255)
204	203	0	303	RGB(0,102,255)	209	208	80	303	RGB(0,102,255)	214	213	46	303	RGB(0,102,255)
204	215	0	303	RGB(0,102,255)	209	215	0	303	RGB(0,102,255)	214	215	7	303	RGB(0,102,255)
204	205	0	303	RGB(0,102,255)	209	210	77	303	RGB(0,102,255)	215	200	0	303	RGB(0,102,255)
204	206	0	303	RGB(0,102,255)	209	211	9	303	RGB(0,102,255)	215	201	5	303	RGB(0,102,255)
204	207	1	303	RGB(0,102,255)	209	212	2	303	RGB(0,102,255)	215	202	0	303	RGB(0,102,255)
204	208	0	303	RGB(0,102,255)	209	213	5	303	RGB(0,102,255)	215	203	0	303	RGB(0,102,255)
204	209	0	303	RGB(0,102,255)	209	214	1	303	RGB(0,102,255)	215	204	0	303	RGB(0,102,255)
204	210	0	303	RGB(0,102,255)	210	200	0	303	RGB(0,102,255)	215	205	0	303	RGB(0,102,255)
204	211	0	303	RGB(0,102,255)	210	201	0	303	RGB(0,102,255)	215	206	0	303	RGB(0,102,255)
204	212	0	303	RGB(0,102,255)	210	202	0	303	RGB(0,102,255)	215	207	0	303	RGB(0,102,255)
204	213	0	303	RGB(0,102,255)	210	203	0	303	RGB(0,102,255)	215	208	0	303	RGB(0,102,255)
204	214	0	303	RGB(0,102,255)	210	204	0	303	RGB(0,102,255)	215	209	0	303	RGB(0,102,255)
205	200	2	303	RGB(0,102,255)	210	205	0	303	RGB(0,102,255)	215	210	0	303	RGB(0,102,255)
205	201	0	303	RGB(0,102,255)	210	206	0	303	RGB(0,102,255)	215	211	0	303	RGB(0,102,255)
205	202	8	303	RGB(0,102,255)	210	207	0	303	RGB(0,102,255)	215	212	0	303	RGB(0,102,255)
205	203	16	303	RGB(0,102,255)	210	208	7	303	RGB(0,102,255)	215	213	0	303	RGB(0,102,255)
205	204	3	303	RGB(0,102,255)	210	209	56	303	RGB(0,102,255)	215	214	7	303	RGB(0,102,255)

Tabelle 8: Transportintensitäten (Repeater) Stapler 2

Quelle	Senke	Intensitaet	Netz	Farbe
Überdachung	Outdoor	1	301	RGB(255,0,0)
Überdachung	Abgabestelle	7	301	RGB(255,0,0)
Überdachung	Abfuellhalle	5	301	RGB(255,0,0)
Überdachung	Tor1	0	301	RGB(255,0,0)
Überdachung	Aufbereitung	21	301	RGB(255,0,0)
Überdachung	Tor2/Durchfahrt	0	301	RGB(255,0,0)
Überdachung	Indoor/Mischhalle	0	301	RGB(255,0,0)
Abgabestelle	Überdachung	9	301	RGB(255,0,0)
Abgabestelle	Outdoor	0	301	RGB(255,0,0)
Abgabestelle	Abfuellhalle	1	301	RGB(255,0,0)
Abgabestelle	Tor1	0	301	RGB(255,0,0)
Abgabestelle	Aufbereitung	2	301	RGB(255,0,0)
Abgabestelle	Tor2/Durchfahrt	0	301	RGB(255,0,0)
Abgabestelle	Indoor/Mischhalle	0	301	RGB(255,0,0)
Abfuellhalle	Überdachung	5	301	RGB(255,0,0)
Abfuellhalle	Abgabestelle	0	301	RGB(255,0,0)
Abfuellhalle	Outdoor	20	301	RGB(255,0,0)
Abfuellhalle	Tor1	0	301	RGB(255,0,0)
Abfuellhalle	Aufbereitung	0	301	RGB(255,0,0)
Abfuellhalle	Tor2/Durchfahrt	0	301	RGB(255,0,0)
Abfuellhalle	Indoor/Mischhalle	0	301	RGB(255,0,0)
Tor1	Überdachung	0	301	RGB(255,0,0)
Tor1	Abgabestelle	0	301	RGB(255,0,0)
Tor1	Abfuellhalle	0	301	RGB(255,0,0)
Tor1	Outdoor	20	301	RGB(255,0,0)
Tor1	Aufbereitung	0	301	RGB(255,0,0)
Tor1	Tor2/Durchfahrt	6	301	RGB(255,0,0)
Tor1	Indoor/Mischhalle	68	301	RGB(255,0,0)
Aufbereitung	Überdachung	18	301	RGB(255,0,0)
Aufbereitung	Abgabestelle	5	301	RGB(255,0,0)
Aufbereitung	Abfuellhalle	0	301	RGB(255,0,0)
Aufbereitung	Tor1	0	301	RGB(255,0,0)
Aufbereitung	Outdoor	1	301	RGB(255,0,0)
Aufbereitung	Tor2/Durchfahrt	47	301	RGB(255,0,0)
Aufbereitung	Indoor/Mischhalle	0	301	RGB(255,0,0)
Tor2/Durchfahrt	Überdachung	0	301	RGB(255,0,0)
Tor2/Durchfahrt	Abgabestelle	0	301	RGB(255,0,0)
Tor2/Durchfahrt	Abfuellhalle	0	301	RGB(255,0,0)
Tor2/Durchfahrt	Tor1	16	301	RGB(255,0,0)
Tor2/Durchfahrt	Aufbereitung	47	301	RGB(255,0,0)
Tor2/Durchfahrt	Outdoor	38	301	RGB(255,0,0)
Tor2/Durchfahrt	Indoor/Mischhalle	68	301	RGB(255,0,0)
Indoor/Mischhalle	Überdachung	0	301	RGB(255,0,0)
Indoor/Mischhalle	Abgabestelle	0	301	RGB(255,0,0)
Indoor/Mischhalle	Abfuellhalle	0	301	RGB(255,0,0)
Indoor/Mischhalle	Tor1	68	301	RGB(255,0,0)
Indoor/Mischhalle	Aufbereitung	1	301	RGB(255,0,0)
Indoor/Mischhalle	Tor2/Durchfahrt	67	301	RGB(255,0,0)
Indoor/Mischhalle	Outdoor	3	301	RGB(255,0,0)
Outdoor	Überdachung	2	301	RGB(255,0,0)
Outdoor	Abgabestelle	0	301	RGB(255,0,0)
Outdoor	Abfuellhalle	19	301	RGB(255,0,0)
Outdoor	Tor1	19	301	RGB(255,0,0)
Outdoor	Aufbereitung	0	301	RGB(255,0,0)
Outdoor	Tor2/Durchfahrt	38	301	RGB(255,0,0)
Outdoor	Indoor/Mischhalle	3	301	RGB(255,0,0)

Tabelle 11: Transportintensitäten (Bereiche) Stapler 1

Quelle	Senke	Intensitaet	Netz	Farbe
Überdachung	Outdoor	3	303	RGB(0,102,255)
Überdachung	Abgabestelle	14	303	RGB(0,102,255)
Überdachung	Abfuellhalle	5	303	RGB(0,102,255)
Überdachung	Tor1	0	303	RGB(0,102,255)
Überdachung	Aufbereitung	33	303	RGB(0,102,255)
Überdachung	Tor2/Durchfahrt	0	303	RGB(0,102,255)
Überdachung	Indoor/Mischhalle	0	303	RGB(0,102,255)
Abgabestelle	Überdachung	16	303	RGB(0,102,255)
Abgabestelle	Outdoor	0	303	RGB(0,102,255)
Abgabestelle	Abfuellhalle	0	303	RGB(0,102,255)
Abgabestelle	Tor1	0	303	RGB(0,102,255)
Abgabestelle	Aufbereitung	1	303	RGB(0,102,255)
Abgabestelle	Tor2/Durchfahrt	0	303	RGB(0,102,255)
Abgabestelle	Indoor/Mischhalle	0	303	RGB(0,102,255)
Abfuellhalle	Überdachung	5	303	RGB(0,102,255)
Abfuellhalle	Abgabestelle	0	303	RGB(0,102,255)
Abfuellhalle	Outdoor	7	303	RGB(0,102,255)
Abfuellhalle	Tor1	0	303	RGB(0,102,255)
Abfuellhalle	Aufbereitung	0	303	RGB(0,102,255)
Abfuellhalle	Tor2/Durchfahrt	0	303	RGB(0,102,255)
Abfuellhalle	Indoor/Mischhalle	0	303	RGB(0,102,255)
Tor1	Überdachung	0	303	RGB(0,102,255)
Tor1	Abgabestelle	0	303	RGB(0,102,255)
Tor1	Abfuellhalle	0	303	RGB(0,102,255)
Tor1	Outdoor	12	303	RGB(0,102,255)
Tor1	Aufbereitung	0	303	RGB(0,102,255)
Tor1	Tor2/Durchfahrt	3	303	RGB(0,102,255)
Tor1	Indoor/Mischhalle	30	303	RGB(0,102,255)
Aufbereitung	Überdachung	29	303	RGB(0,102,255)
Aufbereitung	Abgabestelle	3	303	RGB(0,102,255)
Aufbereitung	Abfuellhalle	0	303	RGB(0,102,255)
Aufbereitung	Tor1	0	303	RGB(0,102,255)
Aufbereitung	Outdoor	0	303	RGB(0,102,255)
Aufbereitung	Tor2/Durchfahrt	59	303	RGB(0,102,255)
Aufbereitung	Indoor/Mischhalle	4	303	RGB(0,102,255)
Tor2/Durchfahrt	Überdachung	2	303	RGB(0,102,255)
Tor2/Durchfahrt	Abgabestelle	0	303	RGB(0,102,255)
Tor2/Durchfahrt	Abfuellhalle	0	303	RGB(0,102,255)
Tor2/Durchfahrt	Tor1	2	303	RGB(0,102,255)
Tor2/Durchfahrt	Aufbereitung	61	303	RGB(0,102,255)
Tor2/Durchfahrt	Outdoor	61	303	RGB(0,102,255)
Tor2/Durchfahrt	Indoor/Mischhalle	108	303	RGB(0,102,255)
Indoor/Mischhalle	Überdachung	0	303	RGB(0,102,255)
Indoor/Mischhalle	Abgabestelle	0	303	RGB(0,102,255)
Indoor/Mischhalle	Abfuellhalle	0	303	RGB(0,102,255)
Indoor/Mischhalle	Tor1	31	303	RGB(0,102,255)
Indoor/Mischhalle	Aufbereitung	1	303	RGB(0,102,255)
Indoor/Mischhalle	Tor2/Durchfahrt	113	303	RGB(0,102,255)
Indoor/Mischhalle	Outdoor	4	303	RGB(0,102,255)
Outdoor	Überdachung	3	303	RGB(0,102,255)
Outdoor	Abgabestelle	0	303	RGB(0,102,255)
Outdoor	Abfuellhalle	7	303	RGB(0,102,255)
Outdoor	Tor1	12	303	RGB(0,102,255)
Outdoor	Aufbereitung	0	303	RGB(0,102,255)
Outdoor	Tor2/Durchfahrt	59	303	RGB(0,102,255)
Outdoor	Indoor/Mischhalle	6	303	RGB(0,102,255)

Tabelle 12: Transportintensitäten (Bereiche) Stapler 2

Quelle	Senke	Intensitaet	Netz	Farbe
Überdachung	Outdoor	0	305	RGB(51,204,51)
Überdachung	Abgabestelle	297	305	RGB(51,204,51)
Überdachung	Abfuellhalle	24	305	RGB(51,204,51)
Überdachung	Tor1	0	305	RGB(51,204,51)
Überdachung	Aufbereitung	1	305	RGB(51,204,51)
Überdachung	Tor2/Durchfahrt	0	305	RGB(51,204,51)
Überdachung	Indoor/Mischhalle	0	305	RGB(51,204,51)
Abgabestelle	Überdachung	289	305	RGB(51,204,51)
Abgabestelle	Outdoor	0	305	RGB(51,204,51)
Abgabestelle	Abfuellhalle	31	305	RGB(51,204,51)
Abgabestelle	Tor1	0	305	RGB(51,204,51)
Abgabestelle	Aufbereitung	0	305	RGB(51,204,51)
Abgabestelle	Tor2/Durchfahrt	1	305	RGB(51,204,51)
Abgabestelle	Indoor/Mischhalle	0	305	RGB(51,204,51)
Abfuellhalle	Überdachung	25	305	RGB(51,204,51)
Abfuellhalle	Abgabestelle	28	305	RGB(51,204,51)
Abfuellhalle	Outdoor	1	305	RGB(51,204,51)
Abfuellhalle	Tor1	0	305	RGB(51,204,51)
Abfuellhalle	Aufbereitung	0	305	RGB(51,204,51)
Abfuellhalle	Tor2/Durchfahrt	0	305	RGB(51,204,51)
Abfuellhalle	Indoor/Mischhalle	0	305	RGB(51,204,51)
Tor1	Überdachung	0	305	RGB(51,204,51)
Tor1	Abgabestelle	0	305	RGB(51,204,51)
Tor1	Abfuellhalle	0	305	RGB(51,204,51)
Tor1	Outdoor	0	305	RGB(51,204,51)
Tor1	Aufbereitung	0	305	RGB(51,204,51)
Tor1	Tor2/Durchfahrt	0	305	RGB(51,204,51)
Tor1	Indoor/Mischhalle	0	305	RGB(51,204,51)
Aufbereitung	Überdachung	2	305	RGB(51,204,51)
Aufbereitung	Abgabestelle	0	305	RGB(51,204,51)
Aufbereitung	Abfuellhalle	0	305	RGB(51,204,51)
Aufbereitung	Tor1	0	305	RGB(51,204,51)
Aufbereitung	Outdoor	0	305	RGB(51,204,51)
Aufbereitung	Tor2/Durchfahrt	3	305	RGB(51,204,51)
Aufbereitung	Indoor/Mischhalle	0	305	RGB(51,204,51)
Tor2/Durchfahrt	Überdachung	0	305	RGB(51,204,51)
Tor2/Durchfahrt	Abgabestelle	0	305	RGB(51,204,51)
Tor2/Durchfahrt	Abfuellhalle	0	305	RGB(51,204,51)
Tor2/Durchfahrt	Tor1	0	305	RGB(51,204,51)
Tor2/Durchfahrt	Aufbereitung	4	305	RGB(51,204,51)
Tor2/Durchfahrt	Outdoor	0	305	RGB(51,204,51)
Tor2/Durchfahrt	Indoor/Mischhalle	0	305	RGB(51,204,51)
Indoor/Mischhalle	Überdachung	0	305	RGB(51,204,51)
Indoor/Mischhalle	Abgabestelle	0	305	RGB(51,204,51)
Indoor/Mischhalle	Abfuellhalle	0	305	RGB(51,204,51)
Indoor/Mischhalle	Tor1	0	305	RGB(51,204,51)
Indoor/Mischhalle	Aufbereitung	0	305	RGB(51,204,51)
Indoor/Mischhalle	Tor2/Durchfahrt	0	305	RGB(51,204,51)
Indoor/Mischhalle	Outdoor	0	305	RGB(51,204,51)
Outdoor	Überdachung	0	305	RGB(51,204,51)
Outdoor	Abgabestelle	1	305	RGB(51,204,51)
Outdoor	Abfuellhalle	0	305	RGB(51,204,51)
Outdoor	Tor1	0	305	RGB(51,204,51)
Outdoor	Aufbereitung	0	305	RGB(51,204,51)
Outdoor	Tor2/Durchfahrt	0	305	RGB(51,204,51)
Outdoor	Indoor/Mischhalle	0	305	RGB(51,204,51)

Tabelle 13: Transportintensitäten (Bereiche) Stapler 3

Quelle	Senke	Intensitaet	Netz	Farbe
Überdachung	Outdoor	1	307	RGB(255,153,0)
Überdachung	Abgabestelle	1	307	RGB(255,153,0)
Überdachung	Abfuellhalle	0	307	RGB(255,153,0)
Überdachung	Tor1	0	307	RGB(255,153,0)
Überdachung	Aufbereitung	0	307	RGB(255,153,0)
Überdachung	Tor2/Durchfahrt	8	307	RGB(255,153,0)
Überdachung	Indoor/Mischhalle	0	307	RGB(255,153,0)
Abgabestelle	Überdachung	2	307	RGB(255,153,0)
Abgabestelle	Outdoor	0	307	RGB(255,153,0)
Abgabestelle	Abfuellhalle	0	307	RGB(255,153,0)
Abgabestelle	Tor1	0	307	RGB(255,153,0)
Abgabestelle	Aufbereitung	0	307	RGB(255,153,0)
Abgabestelle	Tor2/Durchfahrt	0	307	RGB(255,153,0)
Abgabestelle	Indoor/Mischhalle	0	307	RGB(255,153,0)
Abfuellhalle	Überdachung	1	307	RGB(255,153,0)
Abfuellhalle	Abgabestelle	0	307	RGB(255,153,0)
Abfuellhalle	Outdoor	1	307	RGB(255,153,0)
Abfuellhalle	Tor1	0	307	RGB(255,153,0)
Abfuellhalle	Aufbereitung	0	307	RGB(255,153,0)
Abfuellhalle	Tor2/Durchfahrt	1	307	RGB(255,153,0)
Abfuellhalle	Indoor/Mischhalle	0	307	RGB(255,153,0)
Tor1	Überdachung	0	307	RGB(255,153,0)
Tor1	Abgabestelle	0	307	RGB(255,153,0)
Tor1	Abfuellhalle	0	307	RGB(255,153,0)
Tor1	Outdoor	0	307	RGB(255,153,0)
Tor1	Aufbereitung	0	307	RGB(255,153,0)
Tor1	Tor2/Durchfahrt	0	307	RGB(255,153,0)
Tor1	Indoor/Mischhalle	0	307	RGB(255,153,0)
Aufbereitung	Überdachung	0	307	RGB(255,153,0)
Aufbereitung	Abgabestelle	0	307	RGB(255,153,0)
Aufbereitung	Abfuellhalle	0	307	RGB(255,153,0)
Aufbereitung	Tor1	0	307	RGB(255,153,0)
Aufbereitung	Outdoor	0	307	RGB(255,153,0)
Aufbereitung	Tor2/Durchfahrt	2	307	RGB(255,153,0)
Aufbereitung	Indoor/Mischhalle	0	307	RGB(255,153,0)
Tor2/Durchfahrt	Überdachung	6	307	RGB(255,153,0)
Tor2/Durchfahrt	Abgabestelle	1	307	RGB(255,153,0)
Tor2/Durchfahrt	Abfuellhalle	2	307	RGB(255,153,0)
Tor2/Durchfahrt	Tor1	0	307	RGB(255,153,0)
Tor2/Durchfahrt	Aufbereitung	2	307	RGB(255,153,0)
Tor2/Durchfahrt	Outdoor	3	307	RGB(255,153,0)
Tor2/Durchfahrt	Indoor/Mischhalle	1	307	RGB(255,153,0)
Indoor/Mischhalle	Überdachung	0	307	RGB(255,153,0)
Indoor/Mischhalle	Abgabestelle	0	307	RGB(255,153,0)
Indoor/Mischhalle	Abfuellhalle	0	307	RGB(255,153,0)
Indoor/Mischhalle	Tor1	0	307	RGB(255,153,0)
Indoor/Mischhalle	Aufbereitung	0	307	RGB(255,153,0)
Indoor/Mischhalle	Tor2/Durchfahrt	1	307	RGB(255,153,0)
Indoor/Mischhalle	Outdoor	1	307	RGB(255,153,0)
Outdoor	Überdachung	1	307	RGB(255,153,0)
Outdoor	Abgabestelle	0	307	RGB(255,153,0)
Outdoor	Abfuellhalle	1	307	RGB(255,153,0)
Outdoor	Tor1	0	307	RGB(255,153,0)
Outdoor	Aufbereitung	0	307	RGB(255,153,0)
Outdoor	Tor2/Durchfahrt	3	307	RGB(255,153,0)
Outdoor	Indoor/Mischhalle	1	307	RGB(255,153,0)

Tabelle 14: Transportintensitäten (Bereiche) Stapler 4

8 Literaturverzeichnis

8.1 Verwendete Literatur

Arkan, I.: Experimental Research into the Role of Radio Frequency Identification (RFID) Based Real-Time Location System (RTLS) in Production Logistics, 2015, S. 1–146.

Arnold, D. (Hg.): Intralogistik, Potentiale, Perspektiven, Prognosen, Springer-Verlag GmbH, Berlin Heidelberg, 2006.

Arnold, D.; Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen, 5., erweiterte Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2007.

Bichler, K.; Krohn, R.; Philippi, P.: Gabler Kompakt-Lexikon Logistik, 1.800 Begriffe nachschlagen, verstehen, anwenden ; [A-Z], 1. Aufl., Nachdruck, Gabler, Wiesbaden, 2008.

Bichler, K.; Krohn, R.; Riedel, G.; Schöppach, F.: Beschaffungs- und Lagerwirtschaft, Praxisorientierte Darstellung der Grundlagen, Technologien und Verfahren, 9., aktualisierte und überarbeitete Auflage, Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden, Wiesbaden, 2010.

Brunner, P. H.; Rechberger, H.: Practical handbook of material flow analysis, Lewis, Boca Raton, Fla., 2004.

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik: Risiken und Chancen des Einsatzes von RFID-Systemen, Trends und Entwicklungen in Technologien, Anwendungen und Sicherheit, SecuMedia; Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek, Ingelheim, Hannover, 2004.

Burinskiene, A.: Optimising Forklift Activities in Wide-Aisle Reference Warehouse in: Int. j. simul. model., 14, 4, 2015, S. 621–632.

Chai, J.; Wu, C.; Zhao, C.; Chi, H.-L.; Wang, X.; Ling, B. Wing-Kuen; Teo, K. Lay: Reference tag supported RFID tracking using robust support vector regression and Kalman filter in: Advanced Engineering Informatics, 32, 2017, S. 1–10.

Chow, H.; Choy, K.; Lee, W.; Lau, K.: Design of a RFID case-based resource management system for warehouse operations in: Expert Systems with Applications, 30. 4. 2006, S. 561–576.

Corbat, P.: Logistik in Vertriebsunternehmen, Books on Demand, Norderstedt, 2009.

Dickmann, P. (Hg.): Schlanker Materialfluss, Mit Lean Production, Kanban und Innovationen, 3. Auflage, Springer Vieweg, Berlin, 2015.

Dzeng, R.-J.; Lin, C.-W.; Hsiao, F.-Y.: Application of RFID tracking to the optimization of function-space assignment in buildings in: Automation in Construction, 40, 2014, S. 68–83.

Finkenzeller, K.: RFID-Handbuch, Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC, 7., aktualisierte und erweiterte Auflage, Hanser, München, 2015.

Fischer, H.: RFID & Co, RFID-GSM, UMTS, WLAN-Systeme ; alles über moderne Kommunikation ; [auf CD-ROM: Datenblätter, Software und Installationsroutinen, Beispielprogramme], Franzis-Verl., Poing, 2007.

Friedrich, A.: Hybrides Vorgehensmodell der innerbetrieblichen Fördersystemwahl, Entwicklung und Überprüfung eines Modells zur Unterstützung von Planungs- und Investitionsentscheidungen für Fördersysteme im betriebsinternen Materialfluss kleiner und mittelständischer Unternehmen, Leipzig, Univ., Diss., 2013, Books on Demand, Norderstedt, 2013.

Günthner, W.; Hompel, M. ten: Internet der Dinge in der Intralogistik, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2010.

Hippenmeyer, H.: Automatische Identifikation für Industrie 4.0, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2016.

Hompel, M. ten; Schmidt, T.; Nagel, L. (Hg.): Materialflusssysteme, Förder- und Lagertechnik, 3., völlig neu bearbeitete Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2007.

Jünemann, R.; Beyer, A.: Steuerung von Materialfluß- und Logistiksystemen, Informations- und Steuerungssysteme, Automatisierungstechnik, Springer, Berlin, Heidelberg, 1998.

Kern, C.: Anwendung von RFID-Systemen, 2., verbesserte Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2007.

Klug, F.: Konzepte zur Fertigungssegmentplanung unter der besonderen Berücksichtigung von Kostenaspekten, Zugl.: Linz, Univ., Diss., 2000, Utz, München, 2000.

Kofler, M.: Visual Basic 2010, Grundlagen, ADO.NET, Windows Presentation Foundation, Addison-Wesley, München, 2011.

Lanner, C.: Auf die Plätze Stapler, los! in: Factory, 2017, S. 46–47.

- Lehmann, H.-G.: Bestimmung zweckmäßiger Lagerstandorte und -kapazitäten in landwirtschaftlichen Betrieben mit Hilfe von Materialflußanalyse und Transportoptimierung, 1980.
- Lutz, U.; Galenza, K. (Hg.): Industrielles Facility Management, Springer, Berlin, 2004.
- Martin, H.: Transport- und Lagerlogistik, Systematik, Planung, Einsatz und Wirtschaftlichkeit, 10. Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2016.
- Mel, S. de; Herath, D.; McKenzie, D.; Pathak, Y.: Radio frequency (un)identification, Results from a proof-of-concept trial of the use of RFID technology to measure microenterprise turnover in Sri Lanka in: Development Engineering, 1, 2016, S. 4–11.
- Müller, R.; Vette-Steinkamp, M.; Hörauf, L.; Speicher, C.; Burkhard, D.: Development of an Intelligent Material Shuttle to Digitize and Connect Production Areas with the Production Process Planning Department in: Procedia CIRP, 72, 2018, S. 967–972.
- Pawellek, G.: Produktionslogistik, Planung - Steuerung - Controlling ; mit 42 Übungsfragen, 1. Aufl., Carl Hanser Fachbuchverlag, s.l., 2007.
- Pfohl, H.-C.: Logistiksysteme, Betriebswirtschaftliche Grundlagen, 8., neu bearb. und aktualisierte Aufl., Springer, Berlin, 2010.
- Schoblick, R.; Schoblick, G.: RFID, Radio Frequency Identification ; Grundlagen, eingeführte Systeme, Einsatzbereiche, Datenschutz, praktische Anwendungsbeispiele, Franzis, Poing, 2005.
- VDI 2689: VDI-Richtlinie.
- Wang, H.; Cheng, T.; Wu, Z.-A.: Research on Positioning Algorithm of Forklift-mounted RFID Reader in: Sensors & Transducers, Vol. 174, Issue 7, July 2014, 2014, S. 164–168.
- Wannenwetsch, H.: Integrierte Materialwirtschaft, Logistik und Beschaffung, 5., neu bearb. Aufl., Springer Vieweg, Berlin, 2014.
- Weinländer, M. (Hg.): Industrielle Kommunikation, Basistechnologie für die Digitalisierung der Industrie, 1. Auflage, VDE Verlag GmbH; Beuth Verlag GmbH; content-select, Berlin, Offenbach, Berlin, Wien, Zürich, Grünwald, 2017.
- Werner, H.: Supply Chain Management, Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling, 5., überarb. u. erw. Aufl. 2013, Springer, Wiesbaden, 2013.
- Wittenbrink, P.: Transportmanagement, Kostenoptimierung, Green Logistics und Herausforderungen an der Schnittstelle Rampe, 2., vollst. neu bearb. u. erw. Aufl. 2014, Springer Gabler, Wiesbaden, 2014.

Zhang, Y.; Zhang, G.; Du, W.; Wang, J.; Ali, E.; Sun, S.: An optimization method for shopfloor material handling based on real-time and multi-source manufacturing data in: *International Journal of Production Economics*, 165, 2015, S. 282–292.

8.2 Internetquellen

plavis GmbH: Sie wissen nicht, ob Ihre Produktion optimal strukturiert ist?, Prozess, Materialfluss, Transparenz, 2018 unter <https://www.vistable.de/materialflussanalyse-software/> (gelesen am: 20.07.2018).

Wagner, H.: Warum Visual Basic .NET?, 2004 unter <https://dotnet.currifex.org/dotnet/articles/whyvbdotnet/> (gelesen am: 14.04.2018).

8.3 Experteninterview

Interview wurde geführt mit:

Dipl.-Ing. Rainer Pascher

Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fraunhofer Austria Research GmbH

Theresianumgasse 7, 1040 Wien

01. August 2018

8.4 Weiterführende Literatur

Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (Hg.): *Handbuch Logistik*, 3., neu bearb. Aufl., Springer, Berlin, 2008.

Bartneck, N.; Klaas, V.; Schönherr, H.: *Prozesse optimieren mit RFID und Auto-ID, Grundlagen, Problemlösung Und Anwendungsbeispiele*, Wiley-VCH, Hoboken, 2008.

Bostelman, R.; Hong, T.: *Unstructured Facility Navigation by Applying the NIST 4D/RCS Architecture*, 2014.

Ding, K.; Jiang, P.: RFID-based production data analysis in an IoT-enabled smart job-shop in: *IEEE/CAA J. Autom. Sinica*, 5, 1, 2018, S. 128–138.

Dovere, E.; Cavalieri, S.; Ierace, S.: An assessment model for the implementation of RFID in tool management in: *IFAC-PapersOnLine*, 48, 3, 2015, S. 1007–1012.

Fusko, M.; Rakyta, M.; Manlig, F.: Reducing of Intralogistics Costs of Spare Parts and Material of Implementation Digitization in Maintenance in: *Procedia Engineering*, 192, 2017, S. 213–218.

Hausladen, I.: *IT-gestützte Logistik, Systeme - Prozesse - Anwendungen*, 2., vollst. überarb. u. erw. Aufl., Springer Gabler, Wiesbaden, 2014.

Kang, J.; Zhang, P.: Outdoor Logistics Tracking Solution Based on Computer Augmented Reality and RFID Hybrid Technology, 2016, S. 1318–1323.

Klug, F.: Logistikmanagement in der Automobilindustrie, Grundlagen der Logistik im Automobilbau, Springer, Berlin, 2010.

Lim, M. K.; Bahr, W.; Leung, S. C.H.: RFID in the warehouse, A literature analysis (1995–2010) of its applications, benefits, challenges and future trends in: International Journal of Production Economics, 145, 1, 2013, S. 409–430.

Poon, T. C.; Choy, K. L.; Chan, F.T.S.; Ho, G.T.S.; Gunasekaran, A.; Lau, H.C.W.; Chow, H.K.H.: A real-time warehouse operations planning system for small batch replenishment problems in production environment in: Expert Systems with Applications, 38, 7, 2011, S. 8524–8537.

Qu, T.; Yang, H. D.; Huang, G. Q.; Zhang, Y. F.; Luo, H.; Qin, W.: A case of implementing RFID-based real-time shop-floor material management for household electrical appliance manufacturers in: J Intell Manuf, 23, 6, 2012, S. 2343–2356.

Schneider, M.: Lean Factory Design, Gestaltungsprinzipien für die perfekte Produktion und Logistik, Hanser, München, 2016.

Shamsuzzoha, A. H.M.; Helo, P.: Real-time Tracking and Tracing System: Potentials for the Logistics Network, 2011, S. 242–250.

Tamm, G.; Tribowski, C.: RFID, Springer, Heidelberg, 2010.

Thonemann, U.: Operations Management, Konzepte, Methoden und Anwendungen, 3., aktualisierte Auflage, Pearson, Hallbergmoos, 2015.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Diplomarbeit	8
Abbildung 2: Einordnung der Intralogistik	9
Abbildung 3: Materialflussebenen	12
Abbildung 4: Vorgehensweise bei einer Materialflussanalyse	15
Abbildung 5: Kombination der ABC- mit der XYZ-Analyse	20
Abbildung 6: Materialflussmatrix eines metallverarbeitenden Unternehmens	22
Abbildung 7: Kreisverfahren	23
Abbildung 8: Sankey-Diagramm mit hinterlegtem Fabriklayout	23
Abbildung 9: RFID-Betriebsarten	28
Abbildung 10: RFID-System bestehend aus aktiven und passiven RFID-Komponenten	35
Abbildung 11: Vorgehensweise bei der Entwicklung der neuen Auswertungsmethode	38
Abbildung 12: Leitreechner	39
Abbildung 13: WLAN-Router	39
Abbildung 14: Netzwerkantenne	40
Abbildung 15: Netzwerk der temporären, aktiven RFID-Trackinglösung	40
Abbildung 16: RFID-Repeater	41
Abbildung 17: RFID-Tag	41
Abbildung 18: Aufbau der temporären, aktiven RFID-Trackinglösung	42
Abbildung 19: Aufbau der Funktionen	48
Abbildung 20: Laden der Benutzeroberfläche	49
Abbildung 21: Laden benötigter Daten aus Textdateien	50
Abbildung 22: Ausgabe von Daten in einer Listview	51
Abbildung 23: Speicherung von Daten in einem Textdokument	51
Abbildung 24: Vorgehensweise bei der Programmierung	52
Abbildung 25: Imports System.IO	53
Abbildung 26: Auslesen des Dateipfads	53
Abbildung 27: Erstellen eines Dateordners	53
Abbildung 28: Ordnersystem eines Projekts	53
Abbildung 29: Importfunktionen für SQL-Abfragen	54
Abbildung 30: Anbindung der SQL-Datenbank	55
Abbildung 31: Parameter für Datenaufbereitung	56
Abbildung 32: Aufbereitung der RFID-Daten eines Tags	59
Abbildung 33: Berechnung der Transportintensitäten eines Tags	59
Abbildung 34: Berechnung der Verweildauer eines RFID-Tags	60
Abbildung 35: Zeichnen eines Splines	61
Abbildung 36: „drag and drop“ eines Labels	62

Abbildung 37: Export eines Listviews in eine CSV-Datei	63
Abbildung 38: Betätigen der Sabotage-Funktion mit dem Auswertungstool	63
Abbildung 39: Programmierung des Sendens einer E-Mail mittels „Microsoft Outlook“	64
Abbildung 40: Startseite des RFID-Auswertungstools „ToCV“	65
Abbildung 41: Grundeinstellungen	65
Abbildung 42: Eingabe des Projektnamens und des Startdatums	66
Abbildung 43: Ablaufdiagramm der Layout-Einstellungen	67
Abbildung 44: Laden eines Layouts	68
Abbildung 45: Zuordnung von Bereichen	69
Abbildung 46: Ablaufdiagramm zu den Repeater-Einstellungen	70
Abbildung 47: Repeater-Einstellungen	71
Abbildung 48: Ablaufdiagramm zu den Tag-Einstellungen	72
Abbildung 49: Tag-Einstellungen	73
Abbildung 50: Laden bestehender Projekte	73
Abbildung 51: Laden eines bestehenden Projekts	74
Abbildung 52: Auswertungsübersicht	74
Abbildung 53: Visualisierung der Transportrelationen	76
Abbildung 54: Exportdateien	77
Abbildung 55: Export der berechneten Verweildauer je Tag und Repeater	77
Abbildung 56: Export der bereinigten Daten	78
Abbildung 57: Export der Intensitäten je Tag	78
Abbildung 58: Parameter-Einstellungen der Datenaufbereitung	80
Abbildung 59: Parameter-Einstellungen zur Berechnung der Verweildauer	80
Abbildung 60: Hinweis zum Aufrufen des Webservers	81
Abbildung 61: Repeater-Kontrollsystem	81
Abbildung 62: Logbuch-Einträge	82
Abbildung 63: Störungsbenachrichtigung via E-Mail	82
Abbildung 64: vereinfachtes Layout des Unternehmens	84
Abbildung 65: Repeater-Aufbau mittels Ständers sowie Befestigung eines Tags an einem Gabelstapler	89
Abbildung 66: Layout-Einstellungen	90
Abbildung 67: Repeater-Einstellungen	91
Abbildung 68: Tag- und Parameter-Einstellungen	92
Abbildung 69: Visualisierung Stapler 1	93
Abbildung 70: Visualisierung Stapler 2	94
Abbildung 71: Visualisierung Stapler 3	95
Abbildung 72: Visualisierung Stapler 4	95
Abbildung 73: Materialflüsse des Unternehmens	96

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: RFID-Frequenzbereiche nach Weinländer und Kern	29
Tabelle 2: Transponder-Bauformen	30
Tabelle 3: Zusammenfassung State-of-the-Art.....	37
Tabelle 4: Verwendete Steuerelemente	48
Tabelle 5: Verwendete RFID-Komponenten.....	88
Tabelle 6: Ermittelte Verweildauer in Sekunden.....	97
Tabelle 7: Transportintensitäten (Repeater) Stapler 1.....	107
Tabelle 8: Transportintensitäten (Repeater) Stapler 2.....	108
Tabelle 9: Transportintensitäten (Repeater) Stapler 3.....	109
Tabelle 10: Transportintensitäten (Repeater) Stapler 4.....	110
Tabelle 11: Transportintensitäten (Bereiche) Stapler 1	111
Tabelle 12: Transportintensitäten (Bereiche) Stapler 2	112
Tabelle 13: Transportintensitäten (Bereiche) Stapler 3	113
Tabelle 14: Transportintensitäten (Bereiche) Stapler 4	114

11 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
%	Prozent
Auto-ID	Automatische Identifikation und Datenerfassung
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	cirka
CSV	Comma-Separated-Values
Dipl.-Ing.	Diplom-Ingenieur
EDV	elektronische Datenverarbeitung
ERP	Enterprise-Resource-Planning
et al.	und andere
etc.	et cetera
f.	folgend
FDX	Vollduplex-Verfahren
ff.	fortfolgend
FTS	Fahrerloses Transportsystem
HDX	Halbduplex-Verfahren
HF	High Frequency
Hz	Hertz
ID	Identifikator
KMU	Klein- und mittlere Unternehmen
LF	Lo Frequency
LKW	Lastkraftwagen
MHz	Megahertz
PC	Personal Computer
PoE	Power over Ethernet
RFID	Radio Frequency Identification
RGB	Rot-Grün-Blau
RTLS	Real-Time Locating System
S.	Seite
SEQ	Sequenzielles Verfahren
SQL	Structured Query Language
u. a.	unter anderem
UHF	Ultra-High Frequency
VB	Visual Basic
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	vergleiche
WLAN	Wireless Local Area Network
z. B.	zum Beispiel