

Analyse van de interne logistiek bij Bedrijf X

UNIVERSITEIT TWENTE.

Eindverslag Bachelor Technische Bedrijfskunde
Universiteit Twente

Timo Straathof

Rapport

Analyse van de interne logistiek bij Bedrijf X

Auteur

Timo (T.) Straathof

Bachelor Technische Bedrijfskunde

Bedrijf X

Externe Begeleiders

Marc

Carst

Universiteit Twente

Drienerlolaan 5

7522 NB Enschede

(0)53 489 9111

Postbus 217

Begeleiders Universiteit Twente

dr. ir. M.R.K. Mes

dr. ir. J.M.J. Schutten

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie Analyse van de Interne Logistiek bij Bedrijf X. De scriptie en het bijbehorende onderzoek zijn deel van mijn afstudeeropdracht van de studie Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Deze afstudeeropdracht heb ik uitgevoerd bij Bedrijf X tijdens de periode van april 2018 tot en met augustus 2018. Gedurende deze periode heb ik de interne logistiek van het bedrijf in kaart gebracht en geanalyseerd, om zo een verbeteringsvoorstel te kunnen maken. De periode bij Bedrijf X was uiterst leerzaam voor mij, en ik ben dankbaar voor de manier waarop ik bij het bedrijf ontvangen ben.

Ik wil graag alle medewerkers van Bedrijf X bedanken die mij gedurende de tijd bij het bedrijf hebben geholpen en voor een fijne sfeer hebben gezorgd. In het bijzonder bedank ik mijn begeleiders binnen Bedrijf X Marc en Carst voor alle feedback, informatie, en het helpen bij de moeilijke momenten die ik gekend heb gedurende het onderzoek. Ik heb het hen niet altijd even makkelijk gemaakt, des te groter mijn dank dat zij mij hierbij naar hun mogelijkheden hebben geholpen.

Vervolgens wil ik mijn begeleider vanuit de Universiteit Twente Martijn Mes bedanken voor alle hulp en feedback gedurende het onderzoek, in het bijzonder met het opzetten van het simulatiemodel.

Tenslotte wil ik mijn familie en vrienden bedanken die een luisterend oor hebben geboden, en advies hebben gegeven om mijn hoofd koel te houden.

Timo Straathof

Enschede/Stad X, augustus 2018

Managementsamenvatting

Bedrijf X wil de mogelijkheden van een herindeling van het terrein onderzoeken. Om de groei van het bedrijf te faciliteren is in 2007 een nieuwe loods gebouwd op het terrein. Voor deze loods zijn geen vaste werkzaamheden vastgesteld. Door aanhoudende groei is vastgesteld dat het bedrijf in de huidige indeling tegen zijn limieten loopt. De doorstroming van voertuigen op het terrein loopt geregeld voor korte en lange tijden vast. Daarnaast leidt de indeling van dit moment tot inefficiënte werkzaamheden. De routes die materialen afleggen op het terrein leiden over het hele terrein, wat veel tijd en energie kost. Dit interne transport leidt mogelijk ook tot hinder voor andere voertuigen op het terrein.

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te geven in de logistiek op het terrein van Bedrijf X en om aanbevelingen te doen hoe een aangepaste indeling kan leiden tot een betere doorstroming. De focus van dit onderzoek is gelegd op het identificeren en kwantificeren van bottlenecks op het terrein, die ontstaan worden door transporteurs en leveranciers. Om de huidige situatie te analyseren is gebruikgemaakt van een computersimulatie die de huidige indeling weergeeft. De simulatie genereert informatie die niet af te leiden is uit de aanwezige data.

Met behulp van literatuuronderzoek zijn definities gegeven die helpen met het afbakenen van het onderzoek. Vervolgens is de huidige indeling van het terrein in kaart gebracht. Hierbij is gekeken naar alle processen die plaatsvinden op het terrein rondom het bewerken, verwerken en opslaan van materialen. Daarnaast is gekeken waar alle processen op het terrein plaatsvinden. Hieruit kan worden opgemaakt welke routes voertuigen op het terrein rijden voor zowel intern transport als het aan- en afvoeren van materialen.

De huidige situatie is vertaald naar een conceptueel model voor de simulatie. Alle zaken die niet van toepassing zijn binnen de focus van het onderzoek zijn hierbij achterwege gelaten. Dit conceptueel model is vervolgens omgezet naar een simulatiemodel. Naast het opzetten van het simulatiemodel is ook de input voor het model berekend. Dit is gedaan met behulp van interne data van de weegbrug en eigen metingen voor de procestijden op de verschillende locaties waar materiaal geladen en gelost wordt. Tenslotte zijn in het simulatiemodel indicatoren geplaatst voor het meetbaar maken van wachttijden voor de identificatie van de bottlenecks.

De simulatie is gerund voor een lange periode om zoveel mogelijk data te genereren. Hieruit is gebleken dat het rondom de weegbrug het vaakst vast komt te staan. Reden hiervoor is dat hier alle richtingen bij elkaar komen. Gemiddeld staat het hier per dag 94 keer stil voor gemiddeld tussen de 3 en 15 seconden. Voor het ijzerterrein en de papierhal op het terrein komt het gemiddeld vaker dan 1 keer per dag voor dat een voertuig langer dan 5 minuten moet wachten. Er is echter een mogelijkheid dat dit resultaat komt vanwege een aanname dat alle wagens gespreid over de dag komen, waar dit anders ligt in de werkelijkheid.

Aanbevolen wordt om in een vervolgonderzoek als eerste te gaan onderzoeken wat de effecten zijn van een verplaatsing van de weegbrug. Vanwege de centrale locatie en de aanwezigheid hiervan op de meeste routes op het terrein voor transporteurs en leveranciers, zal een verplaatsing hiervan een groot effect hebben op de vele korte wachtbeurten. Daarnaast wordt aanbevolen om in een vervolgstudie het huidige model uit te breiden en het interne transport toe te voegen, om zo een completer beeld van de werkelijkheid te krijgen. Met dit model kan het effect van andere opslagpunten worden onderzocht.

Inhoud

Voorwoord	5
Managementsamenvatting	7
1. Inleiding	11
1.1. Introductie	11
1.2. Aanleiding	11
1.3. Probleemstelling	12
1.4. Onderzoeksvragen	14
1.5. Onderzoeksstrategie	14
2. Literatuuronderzoek	16
2.1 Logistiek	16
2.2 Prestatie en efficiëntie	17
2.3 Simulatie in logistiek	17
2.4 Conclusie	18
2.5 Definities	19
3. Overzicht van de stromen en bewegingen	20
3.1. Het terrein	20
3.1.1. Opslagpunten	20
3.1.2. Laad- en lospunten	21
3.1.3. Verwerkingspunten	22
3.1.4. Weegbrug	22
3.2. Materiaalstromen	23
3.2.1. Actieve verwerking	23
3.2.2. Niet-actieve verwerking	25
3.2.3. Onregelmatige afvalinzameling	26
3.3. Voertuigbewegingen	26
3.3.1. Aanvoer en afvoer van afval	27
3.3.2. Intern vervoer	29
3.4. Conclusie	30
4. Simulatie	31
4.1. Conceptueel model	31
4.1.1. Doel van de simulatie	31
4.1.2. Prestatie-indicatoren	31
4.1.3. Bewegingen	32
4.1.4. Entiteiten	35

4.1.5. Input data	35
4.1.6. Simplificaties en aannames	36
4.2. Simulatiemodel.....	38
4.3. Setup van de experimenten	44
4.4. Verificatie en validatie.....	45
5. Resultaten.....	47
5.1. Frequenties.....	47
5.2. Wachttijden	48
5.3. Conclusie	49
6. Conclusie en aanbevelingen	50
Aanbevelingen.....	50
Bibliografie	52
Appendix.....	54
Appendix A: Histogrammen tijdsduur laden en lossen	54
Appendix B: Berekening aantal replicaties.....	56
Appendix C: Resultaten simulatie.....	57
C.1: Aantal wachtende wagens op locaties.....	57
C.2: Aantal wagens op locatie met wachttijd van meer dan 5 minuten	58
C.3: Wachttijd per locatie.....	60
C.4: Wachttijden meer dan 5 minuten per locatie.....	61

1. Inleiding

1.1. Introductie

Bedrijf X is een recycling- en vernietigingsbedrijf gevestigd in Stad X. Sinds 1879 houdt het bedrijf zich al bezig met het inzamelen van papier voor hergebruik. Sindsdien heeft het bedrijf zich uitgebreid en verplaatst naar een werf van 1,97 hectare waar verschillende afvalstromen worden opgeslagen, gesorteerd, bewerkt, verwerkt en vernietigd. De belangrijkste werkzaamheden binnen het bedrijf richten zich op de inzameling en bewerking van papier voor transport naar verwerkers die er nieuw papier van kunnen maken en de bewerking en inzameling van verschillende soorten metaal. Daarnaast is het bedrijf gecertificeerd voor het vernietigen van archieven, wat tevens ook een belangrijke werkzaamheid is, en wordt er elektronisch afval verwerkt (Bedrijf X, 2018).

Het bereik van Bedrijf X beslaat een groot deel van Oost-Nederland. Van de Veluwe tot aan Twente wordt afval opgehaald en aangeleverd. Op de werf in Stad X wordt aangeleverd papier samengeperst tot balen. Deze balen worden gesorteerd in circa 80 kwaliteiten van het papier en op basis hiervan bij elkaar opgeslagen voordat deze worden afgevoerd naar fabrieken waar het papier wordt vermaakt tot nieuw papier. Archief wordt vernietigd in een afgesloten loods op de werf en vervolgens samengeperst tot balen. Deze balen worden, net als normaal papier, bij elkaar opgeslagen. Een groot deel van het terrein dient hierdoor als opslag van samengeperst papier, gesorteerd op kwaliteit.

Aangeleverd ferro metaal wordt gesorteerd in circa 20 kwaliteiten. Indien nodig wordt het ijzer geknipt in kleinere stukken. Vervolgens wordt het opgeslagen op de werf. Non-ferro metalen worden eveneens in circa 20 kwaliteiten gesorteerd bij aanlevering en los van elkaar opgeslagen. Alle metalen worden in de buurt van elkaar opgeslagen op het zogenoemde ijzerterrein.

Naast de actieve processen voor de verwerking van papier en metalen is Bedrijf X ook actief in de overslag van onder meer hout, kunststoffen en overige bedrijfsafval. Deze worden op een ander gedeelte van het terrein verzameld en opgeslagen, voordat het weer verder wordt vervoerd. Jaarlijks wordt er voor ruim 50.000 ton aan afval verwerkt. Voor de aanvoer van afval en uitvoer van verwerkt materiaal waren in 2017 24,850 voertuigbewegingen nodig. Daarnaast zijn er vele interne bewegingen voor het verplaatsen van verwerkt en onverwerkt materiaal op de werf.

1.2. Aanleiding

Door de groei die het bedrijf heeft doorgaan sinds de jaren '70 zijn er problemen ontstaan in de indeling van het terrein. De eerste loodsen die gebouwd waren, zijn niet altijd toegankelijk voor de voertuigen van deze tijd. Om de mogelijkheden van het bedrijf niet te belemmeren, zijn er later extra loodsen bijgebouwd. Dit heeft als gevolg gehad dat de routes van afvalstromen op het terrein langer en meer verspreid zijn. Vrachtwagens die afval komen aanleveren of uitvoeren komen op meer plekken en rijden routes die elkaar kruisen. Opstoppingen zijn hierom een veelvoorkomende aangelegenheid. Transporteurs die op de werf van Bedrijf X komen hebben geregeld klachten over de gebrekkige doorstroming en de lange wachttijden die ervaren worden. Dit komt overeen met wat is gebleken uit eigen evaluaties waar de conclusie werd getrokken dat op een aantal plekken vrachtwagens lang moeten wachten voor ze verder worden geholpen. In toevoeging op de soms gebrekkige doorstroming kwam uit een interne evaluatie naar voren dat naast externe transporteurs ook intern vervoer lange afstanden moet rijden naar de opslagpunten van zowel bewerkt als onbewerkt afval. Papier dat binnenkomt bij het bedrijf kan over de hele werf worden vervoerd voordat het in de vorm van balen verder wordt vervoerd. Dit is niet efficiënt vanwege de lange

afstand die nodig is voor de verwerking en het vervoer op het terrein, en het hogere energieverbruik dat nodig is voor dit transport. Daarnaast is het gevaarlijker om lange afstanden te rijden met materialen op heftrucks dan kortere afstanden.

Afbeelding terrein verwijderd

Legenda

A: Ingang van het terrein
B: Weegbrug
C: IJzerterrein
D: Eerst gebouwde loodsen,
papierverwerking (1972-1996)
E: Later gebouwde loodsen
(2007)
F: Containerplein

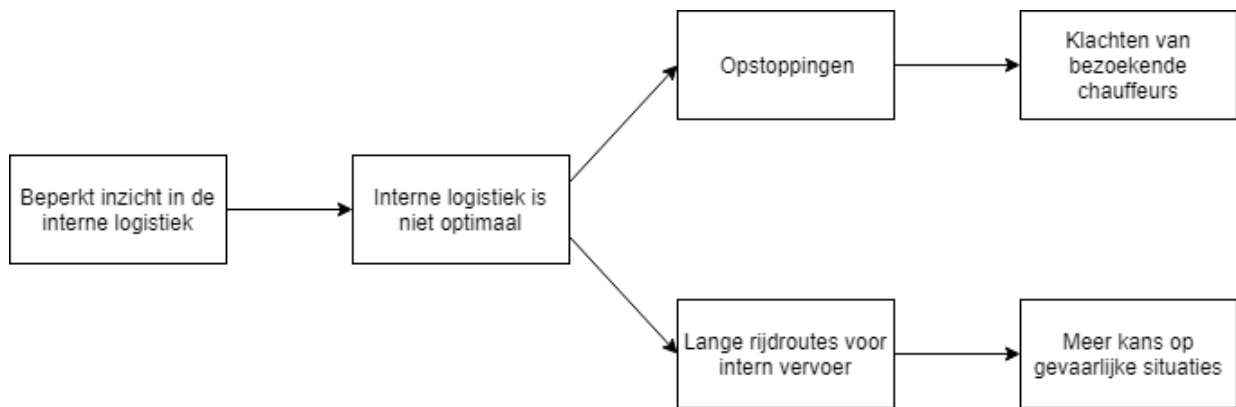
Figuur 1.1: Terrein Bedrijf X

Bedrijf X is ambitieus en zoekt naar mogelijkheden om het maximale te halen uit de beschikbare middelen. Het vermoeden bestaat dat de productie van het bedrijf efficiënter kan worden door de indeling van het terrein aan te passen om zo de doorstroming van voertuigen te versoepelen en het aantal interne voertuigbewegingen te verminderen. Dit heeft als gevolg dat het bedrijf meer afval zou kunnen verwerken met dezelfde mogelijkheden. Om uit te vinden wat de optimale situatie is voor de werf, wil het bedrijf mogelijke oplossingen binnen de huidige restricties testen. Deze oplossingen kunnen voortkomen uit een herindeling van de werf. Mogelijke oplossingen worden getest op winstgevendheid voor tot implementatie wordt overgegaan.

Een herindeling van de werf is een dure operatie. Het bedrijf beschikt over zwaar materiaal dat op dit moment vast staat op plaatsen in de oude loods. Dit materiaal verplaatsen is een dure en tijdrovende operatie waarbij de productie van het bedrijf voor enige tijd stil komt te liggen. Voordat besloten wordt om deze grondige operatie aan te gaan, wil het bedrijf eerst weten of het inderdaad de gewenste verbetering oplevert.

1.3. Probleemstelling

Het bedrijf heeft een aantal problemen waar het tegenaan loopt. Deze problemen zijn weergegeven in een probleemkluwen. Een probleemkluwen brengt de verschillende problemen en de onderlinge relaties in kaart (Heerkens & Van Winden, 2012, p. 46). In de probleemkluwen in Figuur 1.2: Probleemkluwen is uitgewerkt welke problemen er zijn die invloed hebben op het hoofdprobleem.



Figuur 1.2: Probleemkluwen

Het hoofdprobleem is dat het bedrijf een beperkt inzicht heeft in de interne logistiek, waardoor deze niet optimaal geregeld is. Zoals vermeld in hoofdstuk 1.2. Aanleiding heeft het bedrijf door groei gebouwen bijgebouwd op de werf, hiermee niet direct rekening gehouden met de gevolgen die dit meebrengt voor de routes die op het terrein gereden worden. Dit heeft lang niet voor grote problemen gezorgd. Recent heeft de directie besloten dat het nu een probleem is dat moet worden aangepakt. De gevolgen van het beperkte inzicht zullen hieronder apart worden toegelicht.

Doordat het bedrijf een beperkt inzicht in de interne logistiek heeft, is het niet duidelijk of de interne logistiek op de efficiëntste manier is geregeld. Het vermoeden bestaat dat dit niet het geval is, en dat de interne logistiek verbeterd zou kunnen worden. Het hebben van een niet optimale interne logistiek heeft twee gevolgen voor het bedrijf: er ontstaan opstoppingen en er worden lange afstanden gereden voor de interne verplaatsing van materialen. Door het beperkte inzicht is niet geheel duidelijk waar de opstoppingen ontstaan en hoe de situatie verbeterd kan worden.

Opstoppingen

Een groot deel van de wachttijden komen door onnodige opstoppingen. Geregeld loopt het vast op tenminste één plek op de werf. Opstoppingen zijn een van de grootste gevolgen van de inefficiënte indeling van de werf. Doordat de routes van de afvalstromen over de werf verspreid zijn, kruisen de routes van voertuigen van verschillende elkaar. Als gevolg van de opstoppingen ontvangt het bedrijf klachten van chauffeurs over een soms gebrekkige doorstroming en lange ervaren wachttijden.

Bedrijf X hecht waarde aan een goed contact met hun leveranciers en afnemers. Dit geldt ook voor de transporteurs waarmee samengewerkt wordt. Het aantal klachten dat binnenkomt over de wachttijden op het terrein is intussen dusdanig dat de wachttijden een probleem worden.

Lange rijdroutes voor intern vervoer

Door de groei van het bedrijf is later een nieuwe loods gebouwd op het terrein. Op dit moment wordt deze gebruikt van opslag van afval ter overslag en opslag van papier voor verwerking. Het afval wordt van hieruit verplaatst naar de oude loods voor verwerking. Nadat het papier samengeperst is tot balen, worden deze verplaatst naar een opslagpunt van het type papier. Door de grote hoeveelheid aan soorten papier, zijn er een aantal plekken waar de balen worden opgeslagen. Het verste punt waar balen worden opgeslagen bevindt zich naast het containerplein (zie figuur 1.1), aan de andere kant van het terrein ten opzichte van de balenpersen. Deze route wordt dagelijks veelvuldig bereden voor het transport van de balen. Dit kost meer energie vergeleken met het transport naar opslagpunten dichterbij de balenpersen. Ook het transport van materiaal van andere afvalstromen zou wellicht efficiënter kunnen dan in de huidige situatie het geval is.

Een gevolg van de lange rijdroutes is een grotere kans op gevaarlijke situaties. Op korte afstanden kan er minder gebeuren dan op lange afstanden. Er is minder interactie met andere wagens nodig, en er zijn minder plekken waar ineens iets onverwachts kan gebeuren. Een voorbeeld van een gevaarlijke situatie is de noodzaak om abrupt te remmen tijdens het vervoeren van papierballen, waardoor deze kunnen schuiven tijdens het transport.

Voordat er gekeken kan worden naar de opties die het bedrijf heeft om het probleem betreffende de interne logistiek te verhelpen, is een analyse van de huidige situatie nodig om zo meer inzicht te krijgen. Er is een vermoeden dat het vastloopt bij de weegbrug waar alles samenkomt. Daarnaast zouden er nog andere knelpunten kunnen zijn dan. Welke plekken, hoe vaak het vastloopt op deze knelpunten, en hoe groot de gevolgen van het vastlopen zijn, is onduidelijk.

Om te bepalen hoe de efficiëntie van het bedrijf verbeterd kan worden, moet eerst een definitie van efficiëntie worden opgesteld. Aan de hand van de definitie kunnen indicatoren worden opgesteld. Met deze indicatoren kan de efficiëntie van de huidige situatie gemeten worden op een aantal punten, en kan worden gekeken hoe deze indicatoren kunnen worden beïnvloed. In hoofdstuk 2.2 Prestatie en efficiëntie zal meer worden ingegaan op het definiëren van efficiëntie, in hoofdstuk 4.1.2. Prestatie-indicatoren zullen de indicatoren die gebruikt worden verder worden toegelicht.

1.4. Onderzoeksvragen

Om een antwoord te kunnen geven op de probleemstelling, zijn een aantal onderzoeksvragen opgesteld. Met de antwoorden op deze vragen kan een advies worden gegeven hoe Bedrijf X gericht het probleem kan gaan aanpakken en oplossen. Het model dat gebruikt wordt bij het onderzoeken kan ook worden gebruikt bij het testen van het advies.

De hoofdvraag luidt:

- Waar zitten de bottlenecks in de interne logistiek van Bedrijf X, en hoe groot zijn deze?

Om een antwoord te kunnen geven op deze vraag, zijn de volgende deelvragen opgesteld:

- Welke processen omvatten interne logistiek?
- Wat is tijdsefficiëntie?
- Hoe ziet de huidige situatie bij Bedrijf X eruit?
- Hoe ziet het simulatiemodel van de huidige situatie eruit?
- Waar zitten problemen in de huidige situatie met betrekking tot de doorlooptijd?

1.5. Onderzoeksstrategie

Om waarden toe te kennen aan KPIs voor de huidige situatie wordt een simulatiemodel gemaakt. Deze KPIs worden later vastgesteld met behulp van de analyse van de huidige situatie. Het simulatiemodel geeft een versimpelde versie van de interne logistiek weer. Met behulp hiervan kunnen snel de werkzaamheden van een groot aantal dagen worden nagebootst en structurele problemen opgespoord.

Om het onderzoek gestructureerd te doen verlopen is een onderzoeksstrategie opgesteld. Deze strategie helpt met het in kaart brengen welke informatie er nog verzameld moet worden.

1. Allereerst wordt de term interne logistiek uitgelegd aan de hand van wetenschappelijke literatuur om te bepalen welke aspecten van het bedrijf hieronder vallen en in overweging moeten worden genomen voor opname in het model. Daarnaast wordt de rol van simulatie in het oplossen van logistieke problemen uitgelicht op basis van literatuur zodat het belang

van een simulatiemodel voor het oplossen van dit probleem wordt toegelicht. Ook wordt het begrip efficiëntie nader toegelicht.

2. Vervolgens wordt de huidige situatie in kaart gebracht. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de kennis van de werknemers van het bedrijf en eigen observaties. Werknemers worden geïnterviewd om een idee te krijgen hoe de indeling volgens hun verloopt. Met behulp van observaties wordt gekeken of dit idee ook in de werkelijkheid zo wordt uitgevoerd. De indeling van het terrein wordt uitgelicht en de materiaalstromen en voertuigbewegingen over het terrein worden geschetst. Hierbij wordt ook gekeken naar de frequentie van routes en het volume van materiaalstromen om te bepalen welke materiaalstromen veel invloed hebben op de interne logistiek. Voor het bepalen van de frequenties en de volumes wordt data over de wegingen van het bedrijf geanalyseerd. Daarnaast wordt data verzameld over de routes met hulp van een turflijst die wordt ingevuld door een werknemer op de weegbrug.
3. Met behulp van data van het bedrijf en de informatie die verkregen wordt bij het in kaart brengen van de materiaalstromen en de voertuigbewegingen wordt een conceptueel model voor de simulatie gemaakt. Niet alle aspecten van het bedrijf zijn nodig voor de simulatie. De invloed van de werkzaamheden op de interne logistiek is niet voor elke stroming gelijk.
4. Na het maken van het conceptuele model wordt deze gevalideerd door het model voor te leggen aan verschillende werknemers. Waar nodig wordt dit model aangepast, zodat het model de werkelijkheid weergeeft. Vervolgens wordt een simulatie gemaakt aan de hand van het conceptuele model.
5. Vervolgens wordt de simulatie uitgevoerd. Het model is hierbij intern gevalideerd door de uitkomsten te vergelijken met de beschikbare data. Alle inputvariabelen moeten zo veel mogelijk overeenkomen met de werkelijke situatie, zodat uit het model een uitkomst gegeven kan worden die niet dusdanig afwijkt van de situatie in de realiteit. Dit kan worden vergeleken op de punten waar het uitvoeren van de simulatie geen afwijkende waarden moet hebben. De informatie die hieruit verkregen wordt geeft informatie over de knelpunten op het terrein en de omvang van deze knelpunten.
6. Na de verzameling van de data en de analyse wordt een voorstel voor gerichte verbetering gemaakt. Dit verbeteringsvoorstel behandelt de knelpunten en maakt duidelijk wat de gevolgen zijn als deze worden aangepakt.

2. Literatuuronderzoek

Voor het onderzoek is het nodig om eerst een referentiekader op te stellen en een aantal begrippen te definiëren. Het doel van dit referentiekader is om toe te lichten hoe begrippen en onderwerpen in de literatuur worden besproken. Voor dit onderzoek ligt de nadruk op de onderwerpen interne logistiek, efficiëntie in logistiek, en het gebruik van simulatie voor onderzoeken naar interne logistiek. Na bespreking van deze onderwerpen zullen de begrippen worden uitgelegd zoals ze worden gebruikt in het vervolg van het verslag, evenals een conclusie over deze onderwerpen.

2.1 Logistiek

Logistiek is de benaming voor het verplaatsen van goederen en materialen tussen locaties. Een andere definitie van logistiek is klant-georiënteerde operation management (Tseng, Yue, & Taylor, 2005). Het doel van logistiek is het plannen, toepassen en controleren van de stroom en opslag van goederen van een externe oorsprong naar het bedrijf en van het bedrijf naar een eindpunt, met als doel te voldoen aan de verwachtingen van klanten (Lummus, Krumwiede, & Vokurka, 2001). Deze benaming wordt wisselend gebruikt met supply chain management en transport voor hetzelfde doel. Sinds de opkomst van supply chain management, worden logistiek en supply chain management vaak als synoniemen van elkaar gebruikt. Lummus (2001) omschrijft het verschil tussen deze begrippen als volgt:

Logistiek wordt algemeen aanschouwd als binnen één bedrijf, hoewel er ook verplaatsingen zijn tussen het bedrijf en leveranciers en klanten. Supply chain management omvat logistiek, klantordermanagement, productieprocessen en alle informatievoorziening nodig om alle activiteiten in de keten te monitoren.

De andere term die vaak gebruikt wordt ter vervanging van logistiek is transport. Transport is een belangrijk onderdeel van de logistiek. Transportlogistiek in een supply chain vindt meestal plaats door een derde partij die de fysieke stroming van goederen faciliteert van een punt van herkomst naar een eindpunt (Lai, Ngai, & Cheng, 2004). Waar logistiek zich richt op het geheel van verplaatsen van goederen en de opslag ervan, richt transport zich alleen op de verplaatsing.

Doordat er overlap zit tussen transport, logistiek, en supply chain management, kan informatie over een van de verschillende onderwerpen nuttig zijn om een ander onderwerp duidelijker te maken. Dit is in het bijzonder het geval tussen logistiek en supply chain management. Hierom zullen beide onderwerpen iets nadrukkelijker worden toegelicht.

Mentzer et al. (2001) definiëren een supply chain als een set van drie of meer entiteiten (organisaties of individuen) die direct betrokken zijn in de bovenstroom (grondstoffen) en/of benedenstroom (afgewerkte producten) van producten, services, financiën, en/of informatie van een bron naar een klant. Supply chains kunnen voorkomen zonder dat ze gemanaged worden, oftewel zonder supply chain management. Supply chain management houdt zich bezig met het managen van de bedrijfsprocessen die deel uitmaken van de supply chain. Logistiek management is één van de bedrijfsprocessen die hier onder vallen. Een omvattende definitie van supply chain management is de systematische, strategische coördinatie van traditionele bedrijfsprocessen en de tactieken hiervan binnen een specifiek bedrijf en binnen de hele supply chain, met als doel het verbeteren van de prestatie van het individuele bedrijf en de hele bedrijfsketen.

Logistiek wordt gedefinieerd als de taak van het managen van twee stromen: materiaalstromen van de leveranciers tot de afnemers; en informatiestromen die ervoor zorgen dat de materiaalstromen goed kunnen worden gepland en gecontroleerd (Harrison & Van Hoek, 2008). Deze stromen lopen in tegengestelde richting.

Interne logistiek wordt gedefinieerd als al het management en de beweging van materialen binnen een productie- of verwerkingsplaats (Sabóia, Duclós, Quandt, & Souza, 2006). Binnen een productiesysteem is interne logistiek verantwoordelijk voor de invoer en opslag van grondstoffen, intern transport, opslag van afgewerkte goederen en het voorbereiden van bestellingen. Intern supply chain management heeft als focus om binnen een gepaste tijd en met de laagst mogelijke kosten aan de vraag van klanten te voldoen (Chopra & Meindl, 2016). Uit de definitie van logistiek kan worden afgeleid dat interne logistiek dezelfde dingen behandelt, maar dan op kleinere schaal binnen een bedrijf of organisatie. Een intern perspectief op de logistiek is beperkt tot de interne supply chain met als doel de organisatie efficiënter te maken. Leveranciers en klanten zijn externe componenten in de omgeving van interne logistiek doordat ze er geen controle over uitvoeren (Granlund, 2011).

2.2 Prestatie en efficiëntie

Efficiëntie betekent het uitvoeren van een taak met zo min mogelijk verspilld materiaal, tijd, energy, geld en moeite. Voor het meten van de efficiëntie van een proces, moet de prestatie van het bedrijf op dit proces gemeten worden. Efficiëntie is dus gelinkt aan de prestaties van het bedrijf. Prestatie omvat alle factoren die het succes van een bedrijf en zijn activiteiten (Granlund, 2011). Voor een systeem waarin bedrijfsprestatie gemeten kunnen worden zijn prestatie-indicatoren en een ondersteunende infrastructuur voor dataverzameling nodig (Franco-Santos, et al., 2007).

Prestatiemeting is het kwantificeren van acties. Prestaties worden gemeten in het licht van de vijf prestatiedoelen kosten, snelheid, kwaliteit, flexibiliteit en betrouwbaarheid (Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2013). Deze vijf prestatiedoelen hebben verschillende meetbare elementen die iets zeggen over hoe een bedrijf scoort op deze prestatiedoelen. De informatie die hieruit verkregen wordt is nodig om verbeteringen te kunnen maken (Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2013).

Bij het kijken naar de efficiëntie van een bedrijf wordt een vergelijking tussen een waargenomen en optimale waarden voor de input en output gemaakt (Fried, Lovell, & Schmidt, 2008). Hierbij kan worden gekeken naar de maximale output gegeven een huidige input, de minimale input voor de huidige output, of een combinatie van deze factoren. Efficiëntie is hierin een economische factor. Efficiëntie binnen een bedrijf kan op verschillende delen een doelstelling zijn. Deze delen komen samen in efficiëntie als een meting voor de bedrijfsprestatie in termen van kosten (Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2013). Het verbeteren van de efficiëntie om kosten te besparen is voor een bedrijf vaak een reden om processen aan te passen en te verbeteren. Het efficiënter maken van een bedrijfsproces komt met name voor in drie categorieën: geld, energie en tijd. Indicatoren hiervan zijn onder meer energieverbruik, doorlooptijd, bezettingsgraad, en kosten per werkuur (Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2013).

2.3 Simulatie in logistiek

Simulatie wordt gedefinieerd als een imitatie van een systeem (Robinson, 2014). Simulatie heeft vele toepassingen, waaronder productie- en logistiekssystemen. Binnen een simulatie wordt een kunstmatige geschiedenis van een systeem gemaakt, waaruit conclusies kunnen worden getrokken over de nagemaakte werkelijkheid (Banks, 1998). Simulatie wordt voornamelijk gebruikt in situaties waarin de prestaties van systemen lastig te voorspellen is vanwege de invloed van variabiliteit, complexiteit of door onderlinge afhankelijkheid (Robinson, 2014). Het gebruik van simulatie vergeleken met experimenteren in de werkelijkheid is goedkoper, kost minder tijd, en biedt meer controle over de omstandigheden. Daarnaast kunnen er nieuwe werkmanieren en processen getest worden voordat ze in het echt worden toegepast (Robinson, 2014). Bijkomende voordelen van

simulatie vergeleken met andere modelleeraanpakken zijn de mogelijkheid om variabiliteit te modelleren, minder aannames die nodig zijn om tot een uitkomst te komen, en het gemak waarmee de uitkomst van het model kan worden uitgelegd aan buitenstaanders.

Er zijn meerdere soorten simulatie die gebruikt worden in logistieke systemen. De meest gebruikte soorten zijn discrete-event simulatie, Monte Carlo simulatie, system dynamics en agent-based simulatie. Elk type heeft zijn eigen gebied waarin het gebruikt wordt. Discrete-event simulatie wordt gebruikt voor wachtrijsystemen. Monte Carlo simulatie wordt toegepast voor risicomodellering bij onbekende kansen. System dynamics geven de wereld weer als opslagpunten waar gebeurtenissen het opslagniveau veranderen. Agent-based simulatie wordt gebruikt voor systemen waarin individuen met elkaar communiceren (Robinson, 2014). Discrete-event simulatie is van deze typen de meest toegepaste soort voor het modelleren van supply chains (Tako & Robinson, 2012).

Sinds 1960 wordt simulatie gebruikt voor het modelleren van productiesystemen (Law & McComas, 1998). Van de artikelen die gepubliceerd zijn in de drie grootste vakbladen over simulatie in de periode 2000-2005, waren 11,4% van de methodologische artikelen en 22% van de onderzoeksartikelen gerelateerd aan productie en logistiek (Taylor, Eldabi, Riley, Paul, & Pidd, 2009). Daarnaast hebben deze artikelen ook het vaakst relevantie voor de werkelijkheid. Simulatie in productiesystemen wordt veel gebruikt voor het onderzoeken van het benodigd aantal personeel of grondstoffen, het evalueren van de activiteiten en procedures van een bedrijf, en voor het evalueren van de prestaties (Law & McComas, 1998). Variabelen die meetbaar worden gemaakt in simulaties voor dit doeleinde zijn onder meer doorloop, doorlooptijd, wachtrijen en bezettingsgraden.

2.4 Conclusie

Logistiek omvat een deel van de supply chain van een bedrijf. Dit deel omvat het verplaatsen van materiaal en informatie tussen verschillende keten in de supply chain. Interne logistiek houdt zich bezig met de verplaatsingen van materiaal en informatie binnen een bedrijf. Problemen binnen de logistiek ontstaan wanneer materiaal en informatie niet op tijd op een andere locatie komt. Prestaties zijn indicatoren van de efficiëntie. Aan de hand van metingen van indicatoren kan worden geïdentificeerd welke processen in een bedrijf efficiënter kunnen, of waar verbeteringen kunnen worden gemaakt. Voor problemen waar experimenteren in het echt niet mogelijk is, is simulatie een goede manier om informatie te verkrijgen. Aan de hand van de resultaten van een simulatie kunnen beslissingen genomen worden om verbeteringen te maken. Binnen logistieke problemen is simulatie een veelgebruikt hulpmiddel. Specifiek discrete-event simulatie is hiervoor geschikt.

Voor dit onderzoek specifiek is simulatie geschikt omdat het de mogelijkheid biedt om een gebeurtenis, het ontstaan van opstoppen, te laten voorkomen over een groot aantal dagen, zonder dat de activiteiten van het bedrijf hinder ondervinden van het verkrijgen van data. Daarnaast kan op vele plaatsen tegelijk informatie worden vergaard.

Een van de programma's die beschikbaar is voor het simuleren van bedrijfsprocessen is Tecnomatix Plant Simulation. Met dit programma wordt gewerkt in de colleges 'Simulation' op de Universiteit Twente, en is om deze reden ook het programma waarmee gewerkt wordt in dit onderzoek.

2.5 Definities

Zoals is gebleken uit de literatuur over logistiek, wordt deze term op meerdere manieren gebruikt. Ook de andere termen uit de literatuur kunnen ambigu zijn. Aan de hand van de artikelen en boeken die gebruikt zijn in het literatuuronderzoek kunnen nu een aantal definities van de termen worden opgesteld, zoals deze in het verloop van het verslag gebruikt zullen worden.

Interne logistiek – Het verplaatsen van materialen, verwerkt en onverwerkt, over de werf.

Intern vervoer – Wagens die materialen verplaatsen binnen de grenzen van de werf

Extern vervoer – Wagens die materialen komen aanleveren of ophalen, en van de werf af gaan

Efficiëntie – Het uitvoeren van taken met zo min mogelijk verspilde tijd, kosten, of energie

Werf / terrein – Het deel van het bedrijf waar de opslag en verwerking van materialen plaatsvindt

3. Overzicht van de stromen en bewegingen

De werf van Bedrijf X beslaat ongeveer 2 hectare. Op deze werf vinden alle processen plaats rondom het bewerken, verwerken en vernietigen van afval, evenals de opslag van afval voor doorvoer naar andere afvalverwerkers. De ruimte voor elke stroom is dus beperkt en is mede afhankelijk van de grootte van de stroom. In dit hoofdstuk wordt uitgezet hoe het terrein is ingedeeld, welke processen er allemaal plaatsvinden op het terrein van Bedrijf X en de bijbehorende voertuigbewegingen.

3.1. Het terrein

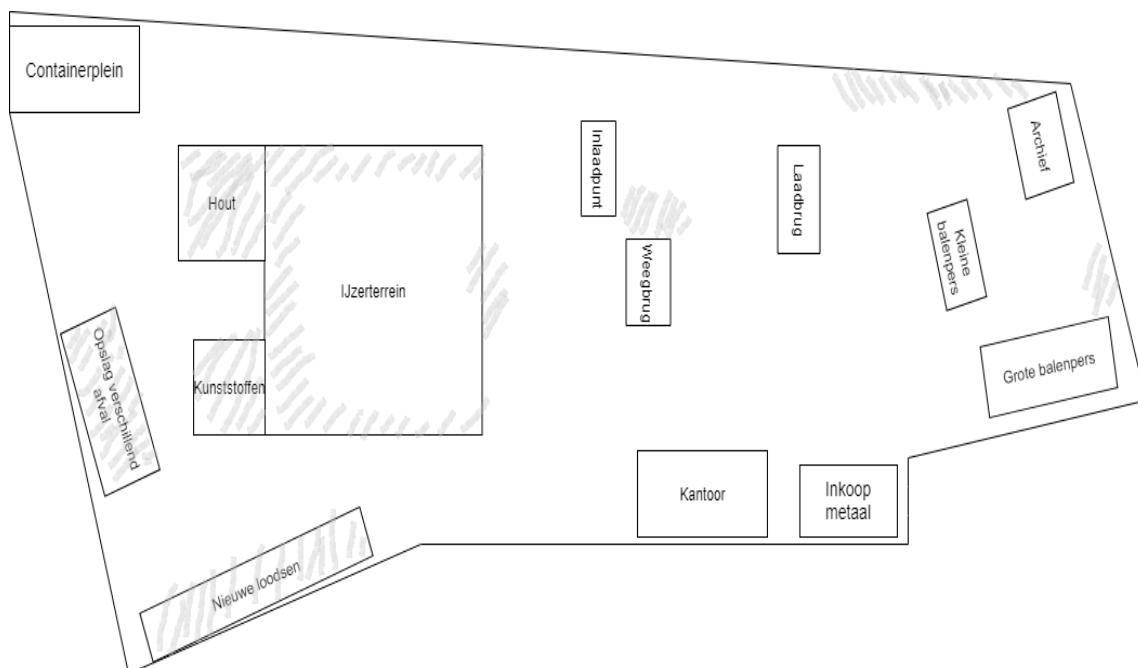
Het terrein van Bedrijf X heeft een oppervlakte van 19695 m², oftewel bijna 1,97 hectare. Op deze werf worden alle werkzaamheden uitgevoerd, van opslag van afval tot verwerking en opslag van verwerkt afval. Ook opslag van containers en laden en lossen gebeurt op deze werf. De processen zijn zo verdeeld over het terrein dat elke stroom een eigen plaats heeft. Het is mogelijk dat de werkzaamheden voor het ene proces door het gebied van een ander proces komen.

De volgende aspecten van het terrein zullen worden uitgelegd in dit hoofdstuk

- De opslagpunten van verwerkt en onverwerkt afval
- De laad- en lospunten van binnenkomend en verwerkt afval
- De locatie van het materieel ter verwerking van afval
- Faciliteiten ter ondersteuning van de opslag, verwerking en verplaatsing van afval

3.1.1. Opslagpunten

Ter illustratie van de locaties van de opslagpunten is het terrein uit figuur 1.1 zo nauwkeurig mogelijk schematisch geschetst. In figuur 3.1 is gearceerd aangegeven waar materiaal wordt opgeslagen.



Figuur 3.1: Opslagpunten

Uit Figuur 3.1: Opslagpunten blijkt dat de opslagpunten zich voornamelijk aan de linkerkant van het terrein bevinden (de geografische zuidkant). Aan deze kant van het terrein bevinden zich de

opslagpunten voor hout en kunststof, evenals een containerplein waar containers worden opgeslagen. Deze containers worden op verzoek van klanten bij hun geplaatst en om een bepaalde tijd verwisseld. Op deze manier wordt er minder vaak afval opgehaald bij deze klanten. Naast hout en kunststof wordt aan deze kant van het terrein ook onregelmatig afval opgeslagen. In hoofdstuk 3.2.3. Onregelmatige afvalinzameling wordt verder toegelicht wat er onder onregelmatig afval verstaan wordt.

De nieuwe loodsen worden gebruikt voor een variëteit van activiteiten. Hier vindt nu voornamelijk opslag plaats van papier en onregelmatig afval. Helemaal links in de hoek van de loods en er net naast is een opslagpunt van bont papier en karton. Dit wordt hier opgeslagen wanneer er niet gelost kan worden in de papierhal. Ook papier dat wordt aangeleverd door particulieren wordt hier vaak gelost. Dit wordt zo gedaan omdat het lossen hiervan vaak langer duurt in vergelijking met het lossen van een vrachtwagen, die de mogelijkheid heeft om de laadbak te kantelen.

Aan de randen van het ijzerterrein worden verschillende groepen metaal opgeslagen. In totaal zijn er 19 vakken ingedeeld voor verschillende typen metaal. Aan de onderkant van het terrein zoals weergegeven in Figuur 3.1 vindt de opslag van verschillende soorten non-ferro metalen plaats. De helft van het totaal aantal vakken is voor de verdeling van deze metalen. Aan de linkerkant van het ijzerterrein wordt industrieel metaalafval opgeslagen. Voorbeelden hiervan zijn stalen balken en gruis. Aan de andere zijde vindt de opslag plaats van ferro metalen. Deze worden hier gesorteerd. Hoofdstuk 3.2 behandelt het proces rondom de verwerking van ferro metalen.

De aangegeven plaatsen boven het ijzerterrein en langs de rand van het terrein tussen de persen worden gebruikt voor de opslag van papierbalen. Over het algemeen worden balen van papier van relatief hogere kwaliteit overdekt in de oude loods opgeslagen. Balen met papier van relatief lage kwaliteit, bijvoorbeeld folders en karton, hebben een lagere prioriteit op overdekte opslag en worden meer richting het containerplein opgeslagen.

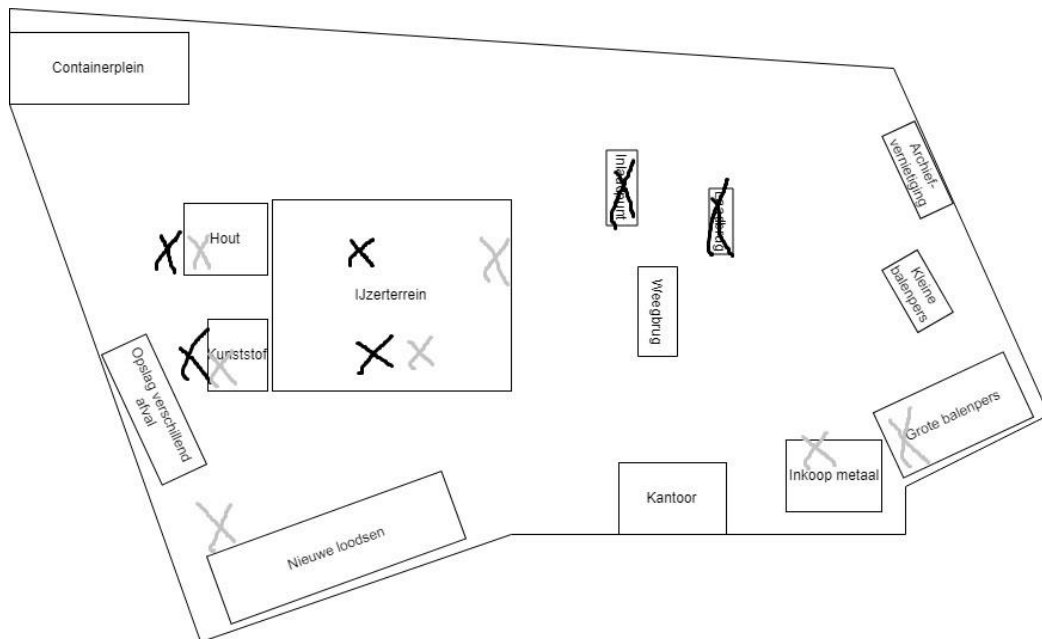
De nieuwe loodsen worden gebruikt voor de opslag van verschillende goederen. Voornamelijk papier voor verwerking en onregelmatig afval wordt hierin opgeslagen.

De opslagpunten liggen behoorlijk ver uit elkaar. De gevolgen hiervan voor de interne logistiek wordt toegelicht in hoofdstuk 3.3 bij de behandeling van de bewegingen.

3.1.2. Laad- en lospunten

Het laden (zwart) en lossen (grijs) van materialen vindt plaats op de aangegeven punten in figuur 3.2. Bij het vergelijken van figuren 3.1 en 3.2 blijkt dat de laadpunten veel overeenkomsten hebben met de opslagpunten. Hieruit blijkt dat het laden zo dicht mogelijk bij de opslagpunten gebeurt. Het voordeel hiervan is dat er minder transport van materialen over lange afstanden nodig is. Een mogelijk nadeel hiervan is dat personeel dat helpt bij het inladen niet bezig kan met verwerking of sortering op de plek waar er wordt ingeladen, wat gevolgen kan hebben voor de productie.

De indeling van de laad- en lospunten en de opslagpunten geeft voor een deel weer hoe het terrein is opgesplitst tussen de verschillende stromen, en welke stromen de meeste ruimte nodig hebben.



Figuur 3.2: Laad- en lospunten op het terrein

3.1.3. Verwerkingspunten

Op het terrein van Bedrijf X vindt voor een aantal afstromen verwerking plaats. Hiervoor is groot en klein materieel beschikbaar. Het grote materieel bestaat uit machines voor een specifieke mutatie van het afval. Voor deze mutaties is meer kracht nodig dan geleverd kan worden door kleiner materieel, of de productiesnelheid van deze machines is groter. Het kleine materieel bestaat voornamelijk uit kranen. Deze kunnen ondersteunend zijn voor het grote materieel of een eigen taak hebben binnen de verwerking. Hiermee wordt voornamelijk het sorteren van afval bedoeld. Een andere taak die kranen hebben is het verkleinen van materiaal waar minder kracht voor nodig is.

Zoals te zien is in figuren 3.1 en 3.2 bevindt zich materieel voor de archiefvernietiging en het persen van papier aan de rechterkant van het terrein. Deze machines bevinden zich in de oude loods. Verder bevindt zich op het ijzerterrein een schrootschaar. Hier vindt de verwerking van papier en ferro metalen plaats.

De processen rondom de verwerking van afval worden toegelicht in hoofdstuk 3.2. Daarin wordt ook gedetailleerd vermeld wat het doel van het materieel is.

3.1.4. Weegbrug

Naast de opslagpunten, laad- en losplekken en de ruimtes die ingedeeld zijn voor de verwerking van afval is er nog een belangrijke plek op het terrein: de weegbrug. De weegbrug is een instrument waarmee het geladen of gelost gewicht van een transporteur gewogen kan worden. De chauffeur rijdt de wagen op een plaat die in de grond is gemonteerd. Binnen krijgt de weegmeester het gewicht van de wagen te zien. Bijna elke wagen rijdt twee keer deze plaat op voor een voor- en naweging.

In de huidige indeling van het terrein bevindt de weegbrug zich centraal op de werf. Van alle kanten komen wagens aan om hier gewogen te worden. In hoofdstuk 3.3 wordt de rol van de weegbrug in de interne logistiek verder besproken.

3.2. Materiaalstromen

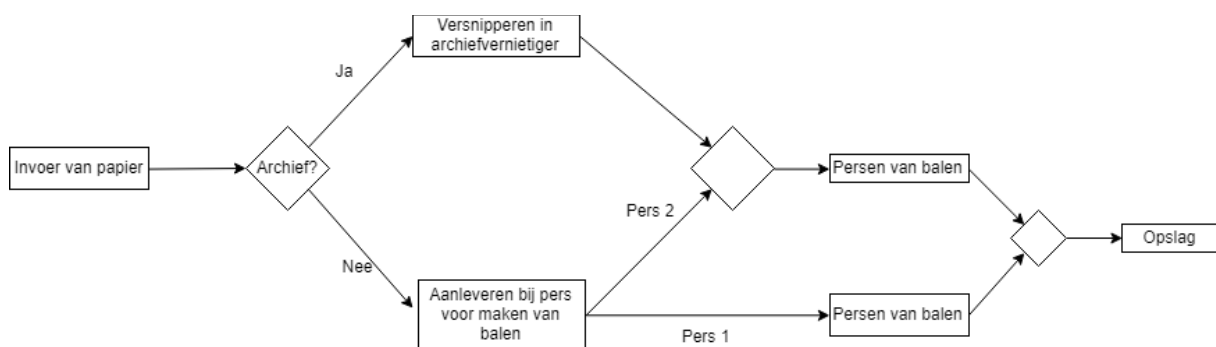
Bedrijf X verwerkt op hun werf vele soorten afval. Sommige stromen zijn belangrijker voor het bedrijf dan andere en hebben daarom meer ruimte op het terrein. Daarnaast zijn er voor een aantal handelingen speciale machines nodig die ook veel ruimte innemen. De stromen op het terrein van Bedrijf X kunnen worden opgedeeld in 3 groepen: afval waar actief verwerking van op het terrein plaatsvindt, afval dat wordt opgeslagen en uitgevoerd zonder grondige extra verwerking, en onregelmatige afvalinzameling van kleinere afvalgroepen. Deze groepen hebben elk een andere invloed op de interne logistiek van de werf.

3.2.1. Actieve verwerking

Actieve verwerking houdt in dat er specifieke acties worden ondernomen op het terrein om de samenstelling van het binnengekomen afval te veranderen. Hiervoor is ook speciaal materieel aanwezig op het terrein, zoals shredders, een schrootschaar en balenpersen. Dit staat in contrast met niet-actieve verwerking, wat neerkomt op inzameling en opslag zonder grote bijkomende handelingen. Het onderscheid wordt hierin gemaakt of er groot materieel nodig is voor de verwerking of niet. Afvalstromen die actief verwerkt worden hebben een grotere invloed op de interne logistiek vergeleken met de andere stromen door de bijkomstigheid dat ze meestal niet op dezelfde plaats blijven gedurende de verwerking, en niet op dezelfde plaats worden opgeslagen.

De afvalstromen die actief worden verwerkt op het terrein zijn papier en ferro metalen. Voor de verwerking van deze stromen zijn grote, speciale machines aangeschaft. Hierin zit ook het verschil met de andere groepen afval, waar geen gespecialiseerd materieel voor aanwezig is. Voor de verwerking van papier beschikt Bedrijf X over twee balenpersen die verschillende grootten balen maken. Daarnaast zijn er drie shredders, een rollenzaag en een guillotine aanwezig voor de vernietiging van archieven. Voor de verwerking van ferro metalen is een schrootschaar geïnstalleerd op het ijzerterrein. Deze schaar knipt grote stukken metaal in kleinere stukken die makkelijker om te smelten en te transporteren zijn voor de bedrijven die er nieuw metaal van maken.

Papier



Figuur 3.3: Verwerking van papier

In Figuur 3.3 is schematisch de verwerking van papier weergegeven. Deze verwerking vindt plaats in de oude loods. Bedrijf X maakt voor het persen van papier onderscheid tussen vele verschillende soorten. Zo worden balen geperst die bestaan uit verschillende typen papier. Dit onderscheid wordt gemaakt omdat er een verschil zit in de kwaliteit van papier dat wordt aangeleverd. Door deze soorten voor het persen te scheiden, worden er balen gemaakt van hogere en lagere kwaliteit. Hiervoor kunnen verschillende prijzen worden gehanteerd. Het verwerkingsproces is voor al deze soorten hetzelfde, en gaat volgens bovenstaand schema. Er zijn hierop een paar uitzonderingen:

- Doorvoer

De tweede uitzondering is de doorvoer van papierbalen. Het bedrijf schaft in gunstige gevallen al samengeperste balen papier aan. Deze worden vervolgens doorgevoerd. Deze balen worden niet verder verwerkt, maar alleen opgeslagen en later verder vervoerd.

- Restrollen en stocklots

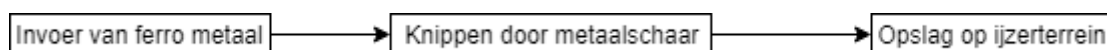
De derde uitzondering op de verwerking van papier zijn restrollen en stocklots. Deze worden op het terrein gezaagd in kleine snippers of door een guillotine in kleine stukken gehakt. Deze kleinere stukken worden vervolgens bij de balenpersers aangeleverd. Voor deze stromen vindt dus een extra proces plaats voor er geperst wordt.

Een speciaal geval van papierverwerking is archief. Hiermee worden ook andere papierproducten die vernietigd moeten worden bedoeld. Deze materialen worden eerst in een aparte hal versnipperd tot hele kleine stukken waarvan de herkomst niet meer te achterhalen valt. Vanuit deze hal worden de snippers per luchtbuis vervoerd naar de kleine balenpersers. Hier kan het worden vermengd met ander papier.

Het verschil tussen de grote en kleine balenpersers zit, naast de grootte van de balen die worden geperst, in het type papier dat erin geperst wordt. De grote balenpersers wordt voornamelijk gebruikt voor de papierstromen met een groot volume. Bekende voorbeelden hiervan zijn karton en huishoudelijk papier, wat hier veel in voorkomt. De kleine balenpersers wordt niet voortdurend gebruikt. Hierin wordt papier van stromen met een kleiner aanlevervolume geperst evenals het vernietigde archief.

Nadat de balen zijn geperst, worden ze verplaatst naar de opslag. Hierbij worden alle balen van eenzelfde type bij elkaar gelegd. Vanwege de grootte diversiteit tussen de typen balen is er veel opslagruimte nodig. In hoofdstuk 3.1 zijn de opslagpunten weergegeven.

Ferro



Figuur 3.4: Verwerking van ferro metalen

De tweede afvalgroep die actief verwerkt wordt op de werf is ferro metalen. Deze groep wordt in het geheel opgeslagen en verwerkt op het ijzerterrein. Het afval wordt hier aangeleverd en opgeslagen op een hoop. Er zijn verschillende hopen voor ferro metalen, die elk hun eigen karakteristieken hebben voor de volgende stap in het recycleproces. Voor de verwerking op het terrein zijn twee hopen belangrijk: groot knipijzer en kort knipijzer. Deze bevinden zich aan weerskanten van de schrootschaar. Groot knipijzer is lastig te vervoeren. Door deze te knippen, kunnen deze beter vervoerd worden. Kort knipijzer wordt opgeslagen in de hoek van het ijzerterrein, van waar het wordt ingeladen en weggevoerd.

Implicaties

Papier en ferro zijn de enige afvalgroepen waarvoor Bedrijf X specialistisch materiaal heeft. Daarnaast zorgen deze stromen voor het meeste verkeer door de grote volumes. Uit gegevens van het bedrijf blijkt dat in de periode januari 2017 – mei 2018 deze groepen samen goed zijn voor bijna <GETAL> wegingen van inkomende en uitgaande voertuigbewegingen op een totaal van <GETAL> voor het aanleveren en afvoeren van materialen. Hiervan is papier met <GETAL> veruit de grootste groep. Dit geeft weer dat de doorstroming voor deze groepen heel belangrijk is op de

werkzaamheden van het bedrijf. Een andere implicatie is dat deze groepen ook het moeilijkste te verplaatsen zijn. Door de aanwezigheid van speciaal materieel staan ze enigszins vast op het moment. Hierin zit een belangrijke overweging voor het bedrijf in de beslissing in een toekomstige herindeling van het terrein. De grootste kostenpost is het verplaatsen van dit speciale materieel, maar hiermee valt mogelijk ook de grootste winst te behalen.

3.2.2. Niet-actieve verwerking

Naast de eerdergenoemde afvalstromen die ook op het terrein bewerkt en verwerkt worden, is Bedrijf X ook actief in de op- en overslag van overig afval. Deze stromen zijn kleiner dan de eerdergenoemde stromen, maar wel substantieel. In tegenstelling tot de groepen die actief verwerkt worden, is er voor de afvalstromen in deze categorie geen speciaal materieel voor verwerking. Er verandert niks tot weinig aan de vorm waarin ze worden aangeleverd. Doordat de stromen kleiner zijn in volume en geen extra bewerking of verwerking nodig hebben, hebben ze een kleiner deel van de werf tot de beschikking.

Verwerkingsproces

In figuur 3.5 is het patroon waaraan deze stromen zich houden schematisch weergegeven. Het onderdeel 'Sorteren' is niet altijd van toepassing. In de gevallen waar geen sortering van het materiaal nodig is, wordt ingevoerd materiaal ter plaatse opgeslagen en op een later tijdstip uitgevoerd.



Figuur 3.5: Behandeling van stromen zonder verwerking op de werf

Sortering kan gebeuren op twee criteria: kwaliteit en soort. Sorteren op kwaliteit gebeurt wanneer er afval van goede en minder goede kwaliteit door elkaar wordt aangeleverd. Een voorname stroom waarin dit voorkomt is hout. Hout wordt gesorteerd tussen A-Hout en B-Hout. Hout van goede kwaliteit komt bij A terecht, terwijl hout dat geleverd is of doordrenkt met een andere stof op de stapel met B-hout komt. De reden van deze sortering is vergelijkbaar met het sorteren van ferro-metalen zoals vermeld in hoofdstuk 3.1. De volgende stap in het recycleproces is anders voor hout van verschillende kwaliteit. “Puur” hout is makkelijker te hergebruiken dan hout dat vervuild is. Tevens is ook de vraagprijs voor verschillende typen hout anders. Hierom wordt bij het aanleveren van hout het afval gescheiden op basis van kwaliteit.

Het tweede type scheiding is veelvoorkomend bij de aanlevering van non-ferro metalen. Deze groep omvat alle metalen die niet ijzerhoudend zijn. Specifiek bij de aanlevering door particulieren, maar niet uitsluitend, is sorteren op basis van het soort metaal nodig. De prijzen per metaalsoort variëren hevig. Daarnaast is ook hier het recycleaspect belangrijk, doordat metalen van dezelfde soort tegelijk worden omgesmolten tot nieuw metaal. Non-ferro metalen is de groep, na ferro metalen en papier, waar de meeste vervoersbewegingen voor invoer en uitvoer van materialen voor zijn. In de periode januari 2017 – mei 2018 waren hiervoor <GETAL> bewegingen gemeten. Door de waarde die deze groep vertegenwoordigt en de noodzaak van het sorteren van deze groep, is een aparte ruimte voor de sortering van het materiaal aanwezig op de werf. Deze ruimte beschikt ook over een eigen weegschaal om elke soort apart te kunnen wegen. Door de variërende marktprijzen tussen verschillende soorten metaal is ook de inkoopprijs variabel.

Implicaties

De afvalstromen die geen actieve bewerking of verwerking vereisen op het terrein hebben minder ruimte nodig dan de stromen die dit wel hebben. Daarnaast hebben deze stromen minder voertuigbewegingen voor de invoer en uitvoer van materialen. Als gevolg hiervan vindt de opslag van deze materialen dichter bij elkaar plaats. Doordat deze afvalstromen geen vast materiaal nodig heeft voor de verwerking en het opslaan, zijn deze groepen makkelijker te verplaatsen. De prioriteit voor deze groepen ligt lager in een toekomstige herindeling. Hierbij moet echter niet de waarde van deze stromen voor het bedrijf uit het oog verloren worden.

3.2.3. Onregelmatige afvalinzameling

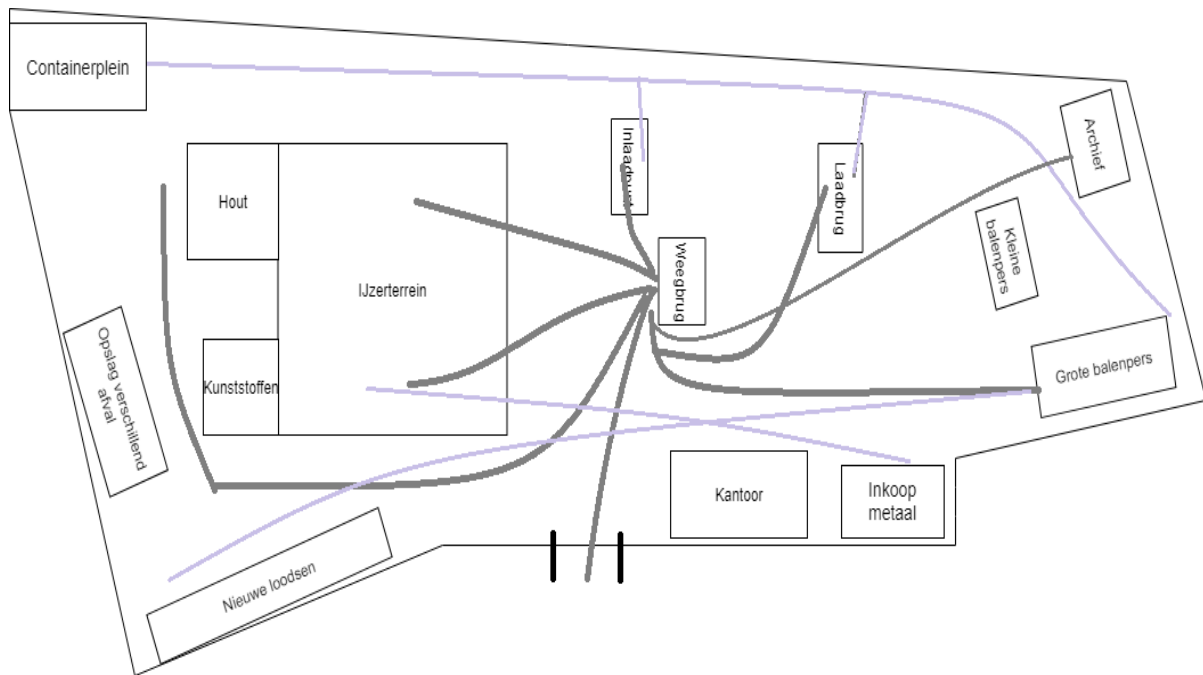
Een speciale vorm van afvalstromen zonder actieve verwerking is de onregelmatige afvalinzameling. Hieronder worden afvalstromen bedoeld die geen vaste plaats hebben op de werf. Deze afvalstromen komen individueel niet op regelmatige basis voor. Echter, de individuele stromen bij elkaar genomen nemen deze wel voortdurend ruimte in. De verwerkingsprocessen variëren per stroom. Afhankelijk van het doel van de stroom wordt bepaald waar het tijdelijk wordt neergezet, en of het daarna op een andere plaats wordt opgeslagen. Voorbeelden hiervan zijn grote hoeveelheden kunststof en grote hoeveelheden huishoudelijk WEEE-afval (onder meer wasmachines en cv-ketels).

De voortdurende stroom van dit ingezameld afval zorgt dat het van grote waarde wordt voor het bedrijf. Voor de logistiek op het terrein biedt deze stroom een nadeel. Het nadeel van deze stroom is dat het geen zekere stroom van één soort afval is. Er kan moeilijk op worden ingespeeld door een vaste ruimte te geven aan specifieke onderdelen. Nu wordt dit afval standaard op drie plekken neergezet: voor de oude loods, in de nieuwe loods en tegenover de nieuwe loods. De plek is afhankelijk van het doeleinde van het type afval en waar er op dat moment ruimte is. Er zijn twijfels of deze situatie optimaal is. De plek voor de oude loods zorgt in de huidige indeling van het terrein voor belemmerde rijdmogelijkheden voor vrachtwagens en heftrucks. De opslag in de nieuwe loods zorgt dat er geen ander afval van een hoofdstroom kan worden opgeslagen, wat ook geldt voor de opslag tegenover de nieuwe loods.

3.3. Voertuigbewegingen

De afvalstromen over het terrein zijn nauw gelinkt aan de voertuigbewegingen. Voertuigbewegingen kunnen worden opgesplitst in drie typen: vervoer voor de aanvoer van afval, voor de uitvoer van materiaal, en intern vervoer voor de verplaatsing van het afval op het terrein. Deze typen hebben allemaal aparte problemen waar tegenaan wordt gelopen binnen de huidige situatie. In secties 3.3.1 en 3.3.2 zal specifiek worden ingegaan op de routes voor intern en extern transport, en de gevolgen hiervan op de gehele interne logistiek.

In figuur 3.6 is een schets van het terrein en alle voertuigbewegingen te vinden. Zoals blijkt uit deze schets loopt er veel vervoer door elkaar heen. Hieruit komt het probleem waar het bedrijf mee zit, de niet optimale interne logistiek, al naar voren. De zwarte stippellijnen geven extern vervoer weer, blauwe stippellijnen intern vervoer.



Figuur 3.6: Vervoersstromen op het terrein

3.3.1. Aanvoer en afvoer van afval

Afval komt via drie manieren op de werf.

- Via de eigen wagens van Bedrijf X. Deze halen afval en archieven op bij klanten in het bereik van Bedrijf X. Daarnaast plaatsen deze wagens containers en halen deze ook weer op. De lading van de wagens is afhankelijk van de route die aan elke wagen is toegewezen en de wensen van de klanten.
- Via transporteurs. Externe vervoerders zijn verantwoordelijk voor alle afvoer van afval en leveren ook een aanzienlijk deel van het afval dat binnenkomt aan. De lading van deze wagens is in overleg met het bedrijf.
- Aanlevering door particulieren. Dit zijn in vergelijking met transporteurs kleinere vrachten. Particulieren leveren een select aantal materialen aan. Aangezien Bedrijf X niet elk type afval aanneemt, worden klanten met overig afval doorgestuurd naar andere bedrijven.

Het verschil voor de interne logistiek zit voornamelijk tussen particulieren en niet-particulieren, aangezien de wagens van transporteurs voor het lossen van afval soortgelijk zijn aan de wagens van Bedrijf X. Doordat particulieren niet alle afvalstromen leveren, komen deze niet overal waar de vrachtwagens van andere leveranciers en eigen wagens wel komen. Hierdoor is het op de plekken waar de particulieren wel komen relatief drukker. Een ander verschil tussen particulieren en niet-particuliere leveranciers is de route naar de losplaats. Vrachtwagens die het terrein opkomen worden altijd via de weegbrug gestuurd. Bij de weegbrug wordt elk voertuig gewogen bij binnenkomst, en na het laden of lossen voor een tweede keer. Dit gewicht wordt bijgehouden voor berekening van te betalen of te innen tarieven, en om bij te houden hoeveel afval er getransporteerd wordt. Voor particulieren is het wegen op de weegbrug niet altijd verplicht. Dit is afhankelijk van de lading van het voertuig. Particulieren die papier, ferro metaal of non-ferro metaal van één soort komen afleveren, worden via de weegbrug gestuurd. Particulieren die meerdere typen non-ferro metaal komen afleveren, kunnen meestal direct doorrijden naar de loods waar deze gesorteerd worden (inkoop metaal, figuur 3.4). Wanneer de lading een gewicht van boven een paar honderd kg bedraagt, wordt deze ook via de weegbrug gestuurd.

De weegbrug bevindt zich midden op het terrein. Elk inkomend en uitkomend voertuig, uitgezonderd particulieren zoals eerder vermeld, moet zich hier melden en wordt gewogen. Doordat elk voertuig hierlangs komt, is dit het drukste punt op het terrein. Van hieruit krijgen de bestuurders van de wagens te horen welke kant ze op mogen rijden voor het laden dan wel lossen van afval. Zoals blijkt uit de schets in figuur 3.4 wordt de weegbrug van vele kanten benaderd. Er is geen enkele wachtrij. Wanneer er van meerdere kanten een wagen staat te wachten, bepalen de chauffeurs onderling wie er als eerste wordt geholpen. De meeste klachten van chauffeurs komen hiervandaan, meestal wanneer ze voor de eerste keer het terrein opkomen en naar de weegbrug willen.

In <Tabel niet openbaar beschikbaar>

Tabel 1 is het aantal wagens van extern vervoer dat per dag per stroom is binnengekomen in de periode januari 2017 – mei 2018 weergegeven. Uit deze tabel blijkt dat papier zorgt voor veruit het grootste aantal wagens dat binnenkomt. Ook blijkt hieruit dat de verdeling tussen de werkdagen bijna gelijk is rond de 20% per dag.

<Tabel niet openbaar beschikbaar>

Tabel 1: Aantal wagens per hoofdgroep per dag

Vanaf de weegbrug lopen de routes uiteen over het terrein naar de bestemming. Voor deze routes is het nodig dat de wagens moeten omdraaien. Hier is niet heel veel ruimte voor in de huidige indeling. Het keren zorgt voor een toename in wachttijd voor wachtende wagens, doordat ze niet direct geholpen kunnen worden als de wagen voor hen de weegbrug nog blokkeert.

De afvalstroom voor papier heeft de meest uiteenlopende routes. Een aparte loslocatie voor papier bevindt zich naast de nieuwe loods. Hier wordt papier gelost op de momenten dat de route naar de papierhal bezet is. Dit punt zorgt voor een snellere doorlooptijd van leveranciers. Het zorgt echter ook voor een lastige situatie op het terrein. Het geloste papier moet naar de pers worden vervoerd door intern vervoer. Dit gebeurt meestal na sluitingstijd in overuren.

De data die het bedrijf beschikbaar heeft, geeft niet altijd weer waar een wagen heen gaat op het terrein voor laden of lossen. Uit de data blijkt bijvoorbeeld wel hoe vaak archief wordt aangeleverd, en hoe vaak er dus een wagen daar lost, maar bijvoorbeeld niet waar wordt ingeladen. Om hier een idee van te krijgen is gevraagd aan de weegmeester om te turven waar wagens heen rijden. De resultaten hiervan zijn verwerkt in Tabel 2. Hierbij is per dag bijgehouden hoeveel wagens overal heen zijn gereden. De uitkomst van het turven over 11 dagen komt echter niet overeen met de data van het bedrijf. Oorzaak hiervan is de drukte bij de weegmeester, waardoor het kan gebeuren dat wagens gemist worden. Daarnaast komen wagens twee keer langs de weegbrug. Hierdoor zijn niet alle wagens meegenomen. Wat uit deze data kan worden afgeleid, is een grove verdeling van het gebruik van de verschillende laad- en lospunten op de werf.

Archief	Papierhal	Inkoop metaal	Laadbrug	Containerplein	Karton/bont	IJzerterrein	Laadpunt weegbrug
2	19	2	6	13	2	14	3
1	26	0	5	10	1	17	5
1	27	0	8	14	5	24	5
1	35	0	5	12	5	16	8
0	28	0	1	13	2	12	4
4	22	0	7	9	3	20	3
0	30	0	9	13	3	17	11
2	32	0	4	9	2	18	4
1	23	0	0	10	4	18	5
1	25	0	6	15	4	15	4
3	25	0	6	13	6	20	4

Tabel 2: Turving van routes op de weegbrug

3.3.2. Intern vervoer

Het wagenpark van Bedrijf X op hun terrein bestaat uit kranen, vorkheftrucks en balenheftrucks. Daarnaast kunnen vrachtwagens op het terrein helpen met het vervoer van afval. De indeling van het terrein bepaalt het grootste deel van de interne logistiek. Van de wagens in het wagenperk op het terrein leggen de vorkheftrucks en balenheftrucks de grootste afstand af.

De kranen worden gebruikt voor het sorteren van afval, het verplaatsen van ferro metaal naar de metaalschaar, het vullen van een container met papier voor de verplaatsing van papier naar de pers, en het vullen van de balenpersen. De kranen hebben een redelijk vast werkgebied waarbinnen ze opereren. De invloed van de kranen op de interne logistiek is aanwezig bij het laden van afval voor de uitvoer. Hiervoor moeten de kranen op de juiste plek staan.

De balenheftrucks verplaatsen samengeperste balen van de persen naar de opslag en van de opslag naar vrachtwagens voor de uitvoer. De hele dag wordt hetzelfde stuk gereden. De opslagpunten voor balen papier liggen langs deze route. Afhankelijk van het type papier worden de balen dichtbij de persen in de oude loods of ver weg bij het containerplein opgeslagen. De opslagpunten bevinden zich dus over de hele westkant van het terrein, van de ene hoek tot de andere hoek. De balenheftrucks maken hierdoor heel veel meters. Het rijden met balen papier is niet onveilig, maar het brengt wel risico's met zich mee. Een baal kan verschuiven tijdens het transport. Hoewel de kans hierop niet heel groot is, is het wel mogelijk. Het transport van balen is het veiligst over een zo kort mogelijk afstand. In de huidige indeling worden de balen het halve terrein over vervoerd.

De vorkheftrucks worden ingezet voor het vervoer van allerlei dingen. Gesorteerd non-ferro metaal wordt per heftruck naar het ijzerterrein verplaatst, waar het wordt opgeslagen per soort. Onregelmatig afval wordt ingeladen, uitgeladen en verplaatst door vorkheftrucks. De routes van deze wagens zijn, in tegenstelling tot de andere wagens in het wagenperk, niet voorspelbaar. Ze variëren per dag, afhankelijk wat aanwezig is op het terrein en wat er binnenkomt. Vorkheftrucks hebben op de werf wel veel invloed op de interne logistiek. Samen met de balenheftruck vervoeren ze het meeste materiaal. Al het interne vervoer gebeurt door deze wagens. Deze wagens rijden echter de hele werf over om materiaal te vervoeren. Ze zijn niet per zone ingedeeld en rijden om materiaal dat nodig is te vervoeren. Hierdoor kruisen hun paden geregeld met leveranciers en transporteurs, wat kan leiden tot opstoppen. Daarnaast worden ze niet efficiënt ingezet als ze allemaal dezelfde routes kunnen rijden.

3.4. Conclusie

In de huidige situatie is het geregeld erg druk. Het voornaamste knelpunt lijkt, op basis van deze observaties, te zijn bij de weegbrug, waar de wachttijden kunnen oplopen wanneer er van alle kanten wagens komen. Hier wordt drukte voor een deel al gespreid door het laden van wagens zo in te plannen dat ze niet allemaal tegelijk klaar zijn. Het inplannen van leveranciers is lastiger vanwege een aantal externe factoren waar het bedrijf geen invloed op heeft, zoals drukke wegen.

Het vervoer van materialen vindt plaats verspreid over het hele terrein. Overal op het terrein zijn opslagpunten. Specifiek het verplaatsen van papier kan plaatsvinden over het hele terrein. Door de grote spreiding van opslagpunten lopen de rijdroutes van heftrucks ook over het hele terrein en kruisen de rijdroutes van extern vervoer. Dit kan gevolgen hebben voor de doorlooptijd van het extern vervoer.

4. Simulatie

Nu de huidige situatie beschreven, wordt deze omgeschreven naar een simulatiemodel. De simulatie heeft als doel om data van de huidige situatie te genereren die lastig te verkrijgen zijn of waarvan het verkrijgen tijdsintensief is. Deze data wordt gebruikt voor de analyse van de huidige situatie.

Het simulatiemodel moet de huidige situatie zo accuraat mogelijk weergeven, zonder te veel details erin te verwerken die het doel van het model hinderen. Hiervoor wordt eerst een conceptueel model gemaakt. Dit conceptueel model beschrijft een versimpelde versie van de realiteit, waarin de bijzaken worden weggelaten. Aan de hand van dit conceptueel model kan de simulatie worden gemaakt.

4.1. Conceptueel model

Een conceptueel model vertelt de context van een simulatie, hoe het aan de eisen voldoet en hoe de delen en processen worden weergegeven (Pace, 2000). Daarnaast vertelt het hoe het model wordt opgebouwd. Een goed conceptueel model helpt bij de acceptatie van het model en de resultaten die daaruit getrokken worden (Law A. M., 2008). Om dit te bereiken, geeft een conceptueel model weer wat het doel van de simulatie is, wat de outputs zijn (de prestatie-indicatoren), de inputs van het model (de experiment variabelen), en de inhoud van het model. Hierbij worden simplificaties en aannames geïdentificeerd, om zo de focus van het model en het level van detail uit te leggen (Robinson, 2014, p. 96).

4.1.1. Doel van de simulatie

Het hoofddoel van de simulatie is om data te genereren over de huidige situatie die lastig zelf te verzamelen is wegens onzichtbaarheid of doordat het verzamelen van deze data tijdsintensief is. Hiermee wordt data over het voorkomen van opstoppen bedoeld, en de duur van deze opstoppen. Om hier informatie over te winnen, worden er variabelen bijgehouden. Ten eerste worden de wachttijden op elk stuk terrein gemeten in het model. Ten tweede worden de procestijden bijgehouden. De procestijden zijn niet vast en kunnen van lengte verschillen. Als gevolg hiervan kunnen de wachttijden toenemen. Door de procestijden bij te houden kan worden bekeken of er een verband is tussen de wachttijden en de procestijden.

4.1.2. Prestatie-indicatoren

Een prestatie-indicator is een variabele die weergeeft hoe een onderdeel scoort. Met de waarde van de variabele kan iets worden gezegd over een criterium van een proces of een product (Hensen & Lamberts, 2011, p. 19). Het bedrijf kan aan de hand van prestatie-indicatoren bepalen of een proces verloopt zoals gewenst of dat verbetering gewenst is. In het geval een verbetering gewenst is, kan een prestatie-indicator een kern-prestatie-indicator (KPI) worden. Aan de hand van de KPI(s) kan worden bepaald of een potentiële verbetering ook echt een verbetering is.

Het bedrijf wil de efficiëntie van de interne logistiek analyseren en verbeteren. Efficiëntie wordt gedefinieerd als de effectieve uitvoering van een proces vergeleken met kosten als geld, tijd, of energie. Alle drie van deze genoemde kosten komen voor binnen de interne logistiek. Dit onderzoek is afgebakend op het analyseren van de benodigde tijd van het doorlopen van het laad- en losproces op het terrein. Daarom zal tijd de variabele zijn die gebruikt wordt voor het meten van de efficiëntie van de interne logistiek.

De volgende prestatie-indicatoren worden in het model gebruikt om de tijdsefficiëntie van het bedrijf te meten:

Gemiddelde wachttijd per wagen

Door het meten van de gemiddelde wachttijd per wagen kan worden bekeken hoe lang de wachttijden zijn vergeleken met de gemiddelde doorlooptijd. Daarnaast kan worden bekeken welke afvalstroom de meeste hinder ondervindt van drukte op het terrein. Dit wordt ook gedaan met de gemiddelde wachttijd per traject.

Gemiddelde wachttijd per traject

Met deze indicator kan worden bekeken op welk traject op het terrein de wachttijden het langst zijn. Dit vertelt ook welke afvalstromen veel hinder ondervinden van wachten. Door de gescheiden indeling van de afvalstromen, kan uit volle trajecten worden afgeleid welke stromen voor de volle trajecten zorgen.

Gemiddelde doorlooptijd

De gemiddelde doorlooptijd vertelt over hoe lang het duurt voor een wagen om het terrein op te rijden, geladen of gelost te worden, en er weer af te rijden. Deze indicator geeft informatie over de doorstroming.

Gemiddelde procestijd

Deze indicator is niet zozeer een prestatie-indicator voor de tijdsefficiëntie van de interne logistiek. De gemiddelde procestijd vertelt echter wel hoelang het laden en lossen van (verwerkt) afval duurt. Dit kan worden vergeleken met de gemiddelde wachttijd per wagen. De correlatie tussen wachttijd en procestijd kan hiermee worden onderzocht. Hierbij wordt het persen van balen of knippen van ferro metaal niet meegenomen.

4.1.3. Bewegingen

In de simulatie gebeuren de volgende dingen:

1. Aankomsten genereren van transporters en parameters meegeven
2. Het simuleren van procestijden
3. Het verplaatsen van transporters over het terrein
4. Data bijschrijven

Transporters zijn een entiteit binnen het simulatiemodel. Een transporter kan net als een wagen in de werkelijkheid een lading vervoeren. Net als de wagens in het echt is ook bij de transporters bij binnenkomst al duidelijk of het een particulier of een niet-particulier betreft, of de wagen vol of leeg is en wat voor materiaal geladen of gelost wordt. Al deze parameters worden bij het genereren van aankomsten al bepaald. In paragraaf 4.1.4 zal hier dieper op in worden gegaan.

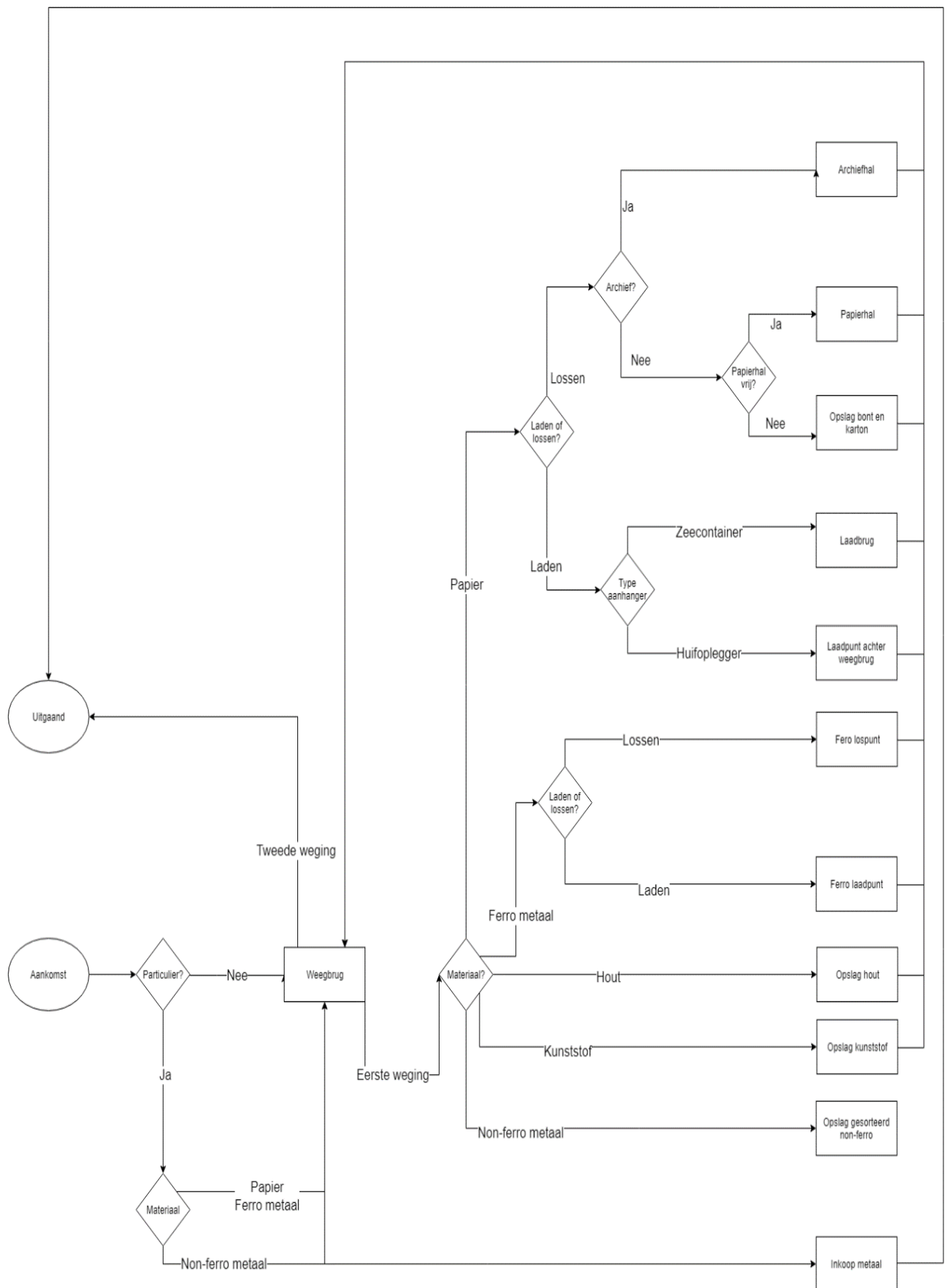
In figuur 4.1 zijn de voertuigbewegingen voor extern vervoer weergegeven. In paragraaf 4.1.6 zal meer worden toegelicht over de keuze om intern vervoer niet mee te nemen in dit conceptueel model.

Alle voertuigen komen binnen via de ingang. Er vindt hierna een splitsing plaats tussen een deel van de particulieren en de overige voertuigen. Een deel van de particulieren die non-ferro metaal komen afleveren, rijden direct door naar de inkoop metaal. Al het overige verkeer rijdt via de weegbrug. Daar wordt gekeken welk materiaal wordt vervoerd. Voertuigen die hout, kunststof of non-ferro metaal komen afleveren of ophalen rijden naar de desbetreffende plek. Het laden en lossen van deze

afvalstromen vindt op dezelfde plek plaats. Hier zit geen verschil tussen het laadpunt en het lospunt. Voor ferro metaal en papier zit hier wel verschil in. Ferro metaal wordt voor een deel aan de ene kant van het ijzerterrein gelost en aan de andere kant van het terrein ingeladen. Ferro metalen voor overslag worden op hetzelfde punt gelost en geladen op het terrein.

Wanneer een wagen papier komt afleveren, wordt er gekeken of het om archief gaat of om andere papiersoorten. Archief wordt in een aparte hal gelost en binnen een zeer korte tijd door de shredder gehaald. Dit is verplicht gesteld in de certificering voor de vernietiging van vertrouwelijk materiaal. Andere papiersoorten worden wanneer mogelijk gelegeerd in de papierhal. Dit is de ruimte in de oude loods waar papier in de balenpers wordt gedaan. Wanneer deze ruimte bezet is door een ander voertuig, wordt het voertuig gelegeerd bij de opslag van karton en bont naast de nieuwe loods.

Voor het laden van papierbalen zijn twee plekken beschikbaar. Afhankelijk van het type oplegger van de transporteur en de lading die vervoerd wordt, wordt er geladen op een laadbrug of op een laadpunt achter de weegbrug. Opleggers die via de zijkant kunnen worden geladen (huifopleggers), worden voornamelijk achter de weegbrug geladen. Opleggers die alleen via de achterkant kunnen worden geladen, zoals zeecontainers, worden voornamelijk via de laadbrug geladen. Papier van exportkwaliteiten worden voornamelijk via de laadbrug geladen, papier van Europese kwaliteiten worden vaker met een huifoplegger vervoerd.



Figuur 4.1: Bewegestromen

Na het laden of lossen rijdt de wagen terug naar de weegbrug voor een tweede weging. Na deze tweede weging verlaat de wagen het terrein. Uitzondering hierop zijn de particulieren die direct naar de inkoop metaal zijn gereden. Deze rijden ook weer direct naar de uitgang zonder stop bij de weegbrug.

Wanneer een voertuig het terrein verlaat, wordt de doorlooptijd van het voertuig berekend en opgeslagen. Deze worden aan het eind van de dag in de simulatie samengenomen om zo een gemiddelde te berekenen. De wachttijden worden bij elke tussenstop in de route berekend en opgeslagen. In hoofdstuk 4.2 zal hier meer over worden uitgelegd.

4.1.4. Entiteiten

In het model worden processen en transporters gebruikt die overeenkomen met processen en wagens in de realiteit. Deze processen en de parameters die worden toegekend in het model worden hier besproken.

Een transporter is een entiteit in het model die andere entiteiten kan vervoeren. Daarnaast hebben transporters de eigenschap dat ze over wegen, zogeheten tracks, kunnen rijden.

Transporters hebben van zichzelf een snelheid waarmee ze zich verplaatsen. Ook de lengte van een wagen kan worden vastgesteld. Deze waarden zijn gelijk voor alle transporters. Hierin wordt geen onderscheid gemaakt tussen particulieren en niet-particulieren. Naast de vaste eigenschappen van transporters kunnen zelf parameters worden toegevoegd. Voor dit model zijn dat de volgende parameters:

- Aankomst
- Bestemming
- Gewicht van de lading
- Huidige locatie
- Materiaal
- Particulier of niet-particulier
- Starttijd van een proces
- Starttijd van wachten
- Vol of leeg
- Wachtnummer
- Wagennummer

Sommige van deze parameters zijn nodig voor de doorstroming in het simulatie model, andere voor het bijhouden van data.

4.1.5. Input data

Om het model werkend te maken, moeten er variabelen worden ingevoerd die zo dicht mogelijk bij de werkelijkheid komen. Deze variabelen bepalen alles voor het simuleren van de interne logistiek. De input data wordt verkregen uit de beschikbare data van het bedrijf en data die zelf verzameld is door middel van interviews en observaties.

De input data kan worden opgedeeld in twee hoofdonderdelen:

- Data voor het genereren van wagens

Met het genereren van wagens wordt de eerste stap in het model, de ovaal met 'aankomst' in figuur 4.1, bedoeld. In deze ovaal worden alle karakteristieken van wagens bepaald en

toegekend. Hierna verandert de transporter in het model niet meer. De route van de wagen ligt voor een deel ook al vast, al kunnen hier nog wijzigingen in voorkomen.

Een deel van de data hiervoor is al beschreven in de vorige paragraaf. De data die nodig is voor het genereren van wagens zijn:

- Verdelingen voor een volle of lege wagen
 - Verdelingen voor particulieren en niet-particulieren
 - Verdelingen van materiaal, afhankelijk of de wagen vol, leeg, particulier of niet-particulier is
 - Tussenaankomsttijden, tijd tussen de aankomsten van wagens
- Data voor het doorvoeren van wagens
- De data voor het doorvoeren van wagens heeft betrekking op het bepalen van de routes van de wagens en de verwerkingstijden. Met verwerkingstijden voor wagens wordt het wegen en het laden/lossen bedoeld, oftewel de tijd die een wagen nodig heeft om het werk te kunnen doen.
- De tijden die benodigd zijn voor het laden en lossen worden ingevoerd op basis van metingen die gedaan zijn. Door een klein aantal metingen van sommige stromingen is er met weinig zekerheid te zeggen hoe deze tijden verdeeld zijn. Hierom kunnen deze tijden enorm schommelen.
- Voor het bepalen van de routes zijn observaties gedaan. Voor het bepalen van de route particulieren is deze informatie nuttig, doordat hieruit kan worden bepaald in welke verdeling deze worden gewogen op de weegbrug of de inkoop metaal. Zoals vermeld in hoofdstuk 3.3 rijden particulieren met non-ferro metaal niet altijd naar dezelfde plaats voor lossen.
- De data die nodig is voor het laten doorstromen van de wagens zijn:

- Verdelingen van de laadtijden per materiaalsoort
- Verdelingen van de lostijden per materiaalsoort
- Verdelingen van de weegtijden
- Routefrequenties

4.1.6. Simplificaties en aannames

Om de realiteit om te zetten naar een model, worden simplificaties en aannames gemaakt. Niet elk aspect van het bedrijf wordt weergegeven, of aspecten worden versimpeld weergegeven. Aannames over de realiteit veranderen de blik waarmee naar de werkelijkheid wordt gekeken, met als doel dat het model minder complex wordt. Hierbij kunnen delen van de realiteit die een lichte invloed hebben op het model verminderd of weggelaten worden, mits deze delen uit het model gelaten kunnen worden. Simplificaties zijn geen aannames over de realiteit, maar zijn manieren om de complexiteit van een model te verminderen. Dit kan worden gedaan door de focus van het model kleiner te maken of door het model minder gedetailleerd te maken (Robinson, 2014, pp. 109-110). Het doel van simplificatie is om de haalbaarheid en nut van een model te vergroten zonder de validiteit en geloofwaardigheid aan te tasten.

De aannames en simplificaties die gemaakt zijn voor dit model zijn als volgt:

- *Intern vervoer heeft geen invloed op wachttijden extern vervoer*

De eerste aanname betreft het intern vervoer. We stellen dat deze geen invloed heeft op de wachttijden voor extern vervoer. Intern vervoer bestaat uit heftrucks en kranen. Aangenomen wordt dat de kranen zich gedurende de dag op dezelfde plaats bevinden, of zich bewegen op momenten dat het rustig is op de werf. Hierdoor storen kranen extern vervoer niet. Heftrucks hebben een hogere frequentie van verplaatsen dan kranen. Deze kruisen de wegen van extern vervoer vaker. Door het formaat van heftrucks en de behendigheid van deze voertuigen zijn ze flexibel in gebruik. Ze kunnen makkelijker tussen het verkeer door manoeuvreren. Daarnaast kunnen de heftrucks makkelijker ruimte maken en wachten voor extern vervoer. In de praktijk blijkt ook dat hier vanuit twee kanten rekening mee wordt gehouden, en dat heftrucks inspelen op de handelingen van wagens voor extern vervoer.

- *Er wordt alleen gekeken naar efficiëntie in de vorm van tijd voor extern vervoer*

Voor het analyseren van de tijdsefficiëntie van Bedrijf X wordt gekeken naar de wachttijden en doorlooptijden. Deze worden alleen bekeken voor extern vervoer dat het terrein op komt. Intern vervoer kan ook worden geanalyseerd op basis van tijdsefficiëntie. Dit gaat echter lastiger, doordat de bezettingsgraad van de voertuigen niet altijd optimaal is. Niet alle voertuigen zijn altijd nodig voor transport van materialen over de werf, en een aantal hiervan staan dus regelmatig stil. De efficiëntie van het bedrijf wordt daarom alleen gemeten over het extern vervoer.

- *Wagens houden zich netjes aan de snelheidslimiet*

Op het terrein geldt een snelheidslimiet van 5 km/uur voor voertuigen. Sommige chauffeurs rijden iets voorzigtiger vanwege de aanwezigheid van ander verkeer en lastige draaien die soms gemaakt moeten worden. Daarnaast wordt er voor het rijden naar een losplaats vaak langzamer gereden. Er zijn ook chauffeurs die op korte stukken iets harder rijden dan de snelheidslimiet. Voor het model wordt aangenomen dat alle chauffeurs zich aan de snelheidslimiet houden en hieraan voldoen.

- *Alleen de vijf hoofdstromen + archief zijn belangrijk*

Zoals vermeld in hoofdstuk 3.2 komt er een verscheidenheid aan afval binnen, sommige stromen groter dan andere. Binnen deze stromen zijn er vele verschillende kleinere afvalgroepen met elk hun eigen opslagpunten en laadfrequenties. Om het model niet te complex te laten worden, wordt het afval ingedeeld in de vijf hoofdstromen. Alleen binnen papier wordt archief apart genomen, omdat hier een speciale losplaats voor is. Deze stromen zijn ook de stromen zoals vermeld in <Tabel niet openbaar beschikbaar>

Tabel 1.

- *Afvalstromen hebben waar mogelijk altijd dezelfde laad- en loslocatie*

Op het terrein heeft elke afvalstroom een deel waar wagens met afval uit die stroom wordt gelost en waar wagens worden geladen. Het laden en lossen gebeurt waar mogelijk op dezelfde plek. In het geval er een tweede laad- of loslocatie is van een afvalstroom, wordt deze pas gebruikt wanneer de andere bezet is.

- *Er zit geen verschil in het aantal wagens per dag*

Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen het aantal voertuigen dat per dag binnenkomt. Elke werkdag komen voertuigen met dezelfde tussenaankomsttijden de werf op. Hier zit geen verschil in tussen de verschillende dagen. Ook deze aanname wordt gemaakt om de complexiteit van het model te overzien te houden.

Uit <Tabel niet openbaar beschikbaar>

Tabel 1 komt naar voren dat elke werkdag ongeveer 20% van de stromen bevat. Vrijdag is iets drukker in de realiteit.

- *Er zit geen verschil tussen de dagen in het aantal wagens per materiaal*

Evenals dat op alle werkdagen wagens volgens dezelfde verdeling binnenkomen, is ook de verhouding van de materialen op alle dagen gelijk. Elke dag is de kans op een vol of leeg voertuig voor een materiaalsoort gelijk.

- *Elk uur heeft gelijke kansen op aantal wagens dat binnenkomt*

Aangenomen wordt dat de drukte op de werf betreffende inkomende voertuigen over de dag gelijk is. Piekuren zijn niet aanwezig. In de werkelijkheid komen piekuren af en toe voor. Aan het eind van de dag is het vaak drukker vanwege eigen wagens die terugkomen. Vlak na openingstijd is het gemiddeld genomen iets rustiger.

- *Het gewicht van de lading is irrelevant voor de interne logistiek*

Voor het model maakt het niet uit hoeveel materiaal een voertuig vervoert. Bij de invoer van de verwerkingstijden voor wagens is al uitgegaan van een spectrum van tijden. Deze tijden kunnen gekoppeld zijn aan het gewicht. Hoewel het gewicht en het volume invloed hebben op de laad- en lostijden, nemen we dit niet mee in het model.

4.2. Simulatiemodel

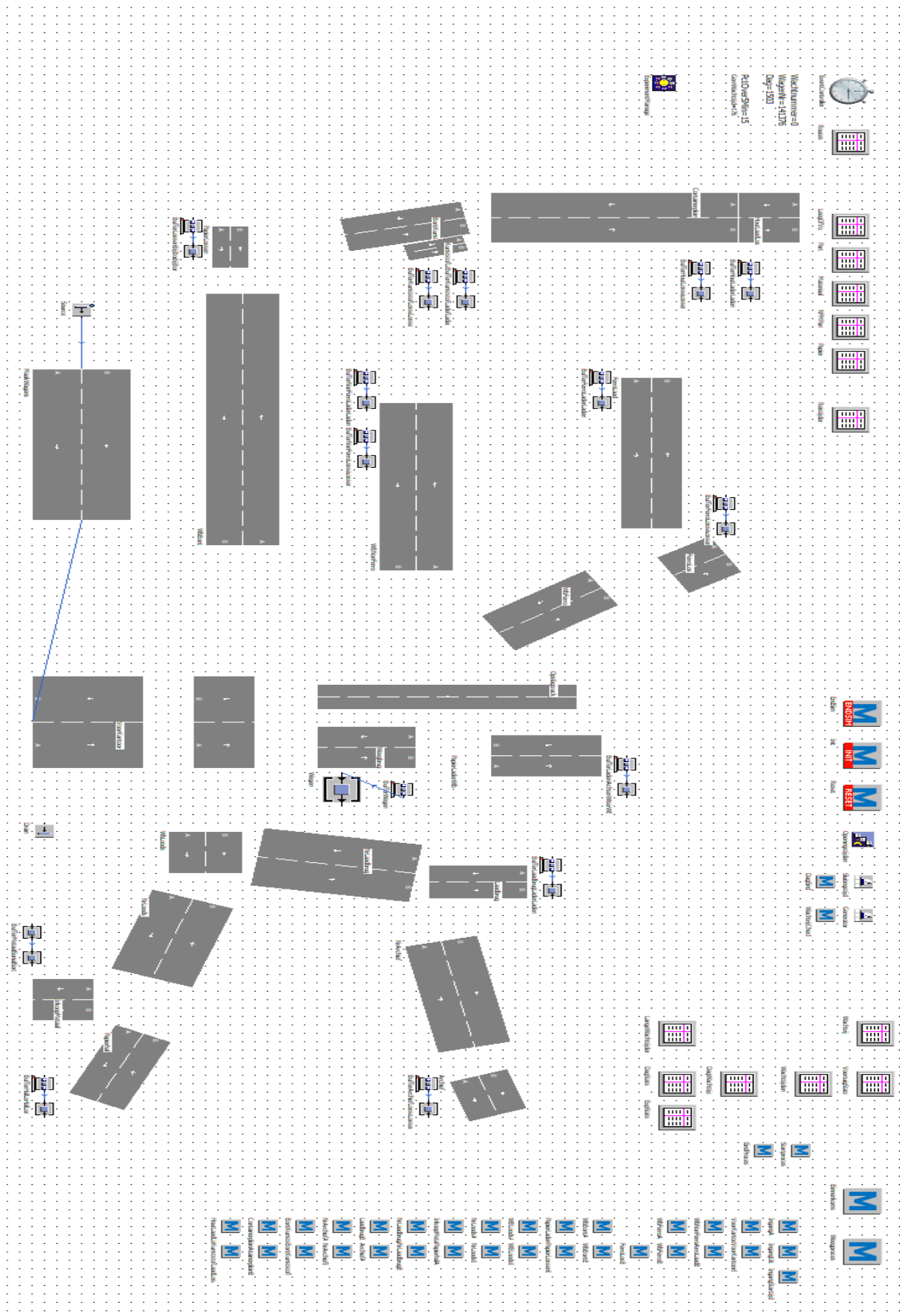
Het simulatiemodel is de overzetting van het conceptueel model in een computerprogramma waarin de simulatie gerund gaat worden. De software die gebruikt wordt in dit onderzoek is Tecnomatix Plant Simulation. Dit is een veelgebruikte software van het modelleren van bedrijfsprocessen, en is tevens het programma dat ook gebruikt wordt in de colleges simulatie op de Universiteit Twente.

In figuur 4.2 is het simulatiemodel weergegeven. Hierbij is de vormgeving zoveel mogelijk afgestemd op de huidige indeling van het terrein, om zo een beter beeld te krijgen waar opstoppen voorkomen in het model. Om het model niet te groot van formaat te laten worden, zijn alle afmetingen en snelheden door 2 gedeeld. Het model zal worden uitgelegd aan de hand van de taken van het simulatiemodel zoals beschreven in het conceptueel model.

Voor het simulatiemodel is gekozen om met two-lane-tracks te werken die de wegen op het terrein voorstellen. Two-lane-tracks houden wegen in waarover in 2 richtingen gereden kan worden. Hiervoor worden in het model transporters aangemaakt bij de ingang van het model. Een transporter komt overeen met een voertuig. In hoofdstuk 4.1.4. Entiteiten is al besproken welke eigenschappen een transporter meekrijgt voor deze overeenkomst. De keuze voor tracks is gemaakt om visueel weer te kunnen geven hoe de voertuigen rijden. Wanneer de simulatie op een lage snelheid wordt gerund, kan exact worden bekeken waar een voertuig rijdt op dat moment. Daarnaast bieden tracks de

mogelijkheid om het model tijdelijk fysiek vast te laten lopen, bijvoorbeeld door een keten van opstoppen op verschillende plaatsen.

Door two-lane-tracks te gebruiken, kunnen transporters twee richtingen op rijden. In de realiteit komt dit op twee manieren voor: plekken waar voertuigen langs elkaar heen kunnen rijden, en plekken waar een voertuig achteruitrijdt om het laden of lossen makkelijker te doen verlopen. Voor de tweede groep zijn daarom bepaalde trajecten ingesteld op een capaciteit van maximaal 1 voertuig. Deze trajecten komen voornamelijk voor op de plekken waar voertuigen worden geholpen met bijvoorbeeld het laden of lossen, waar maar voor één voertuig ruimte is.



Figuur 4.2: Simulatiemodel

De tracks in het model zijn opgeknipt in kleinere stukken. In werkelijkheid lopen alle wegen in elkaar over. In verband met mijn vaardigheden in programmeren, zijn de wegen in kleinere stukken opgedeeld. Hierdoor zijn minder complexe codes nodig voor het aansturen van transporters, die wel vereist zijn bij het gebruik van bijvoorbeeld sensoren met hetzelfde doel. De lengte van de stukken is gebaseerd op metingen via Google Earth en op basis van keuzes die onbewust gemaakt worden door chauffeurs. Het opdelen van de route in kleinere stukken leidt hierdoor niet tot langere rijtijden in het model. De routes die gereden worden gaan over stukken weg op de werf, waarbij steeds een beslissing wordt genomen over welke kant de wagen op moet rijden. In het model vindt deze beslissing steeds aan het eind van elk stuk track plaats.

Aanmaken van wagens

Transporters worden aangemaakt in de source, links onderin in het model. De tijd tussen het aanmaken van wagens in het model is ingegeven in het object. Dit is ingesteld op 334 seconden (5:34 minuten) tussen 7:30 en 16:30, wat de openingstijden zijn van **Bedrijf X**, en op 0 seconden op de overige tijden. Gemiddeld wordt om dit aantal seconden een nieuwe wagen aangemaakt. De aankomsttijd van de transporter wordt hierbij opgeslagen als een parameter. Naast deze parameter worden er bij het aanmaken van een transporter een aantal parameters van de transporter direct bepaald. Als eerste wordt bepaald of een wagen vol of leeg is. Hiervoor is een tabel in het model aangemaakt genaamd *“LeegOfVol”*. Deze tabel bevat de empirische kansverdeling op een volle of een lege wagen, gedetermineerd uit de data van de weegbonnen van het bedrijf. De waarden van deze tabel zijn terug te vinden in Tabel 3. Vervolgens wordt bepaald of een transporter een particulier of niet-particulier weergeeft. Dit wordt bepaald door de kansverdeling die is weergegeven in de tabel *“Part”*. Deze waarden zijn terug te vinden in Tabel 4. Daarna wordt bepaald voor welke afvalstroom de transporter gaat rijden. Dit wordt bepaald met de kansverdeling in de tabel *“Materiaal”*. Deze verdeling is terug te vinden in Tabel 5. De volgorde van het bepalen van deze parameters is zo gesteld om de verdeling van het totaal aantal wagens het makkelijkst te doen verlopen. De kans op een afvalstroom is afhankelijk van de andere twee parameters en wordt daarom als laatste bepaald. Door eerst te bepalen of een transporter vol of leeg is, wordt het bepalen van particulieren makkelijker gemaakt. Dit komt doordat de keuze vol of leeg kan worden gemaakt over alle wagens en dus een grotere groep meteen kan afscheiden. De keuze voor particulier of niet-particulier wordt dan gemaakt voor de groep transporters die vol zijn en dus afval komen lossen.

Lading	Percentage
Vol	89,98%
Leeg	10,02%

Tabel 3: Verdeling tussen volle en lege wagens

Particulier?	Percentage
Particulier	24,00%
Niet-Particulier	76,00%

Tabel 4: Verdeling tussen particulieren en niet-particulieren

Materiaal	Percentage (vol, particulier)	Percentage (vol, overig)	Percentage (leeg)
Ferro metalen	35%	14%	17%
Non-ferro metalen	50%	4%	7%
Papier	15%	70%	61%
Hout	0%	6%	10%
Kunststof	0%	6%	5%

Tabel 5: Verdeling van hoofdgroepen bij binnenkomen

Doorstromen van wagens

De doorstroming van de wagens vindt plaats met behulp van de methods, in het model aan de rechterkant geplaatst. Deze methods zijn gekoppeld aan elke uitgang van een track, en voor beide richtingen. In deze methods wordt de volgende track van de transporter bepaald, en daarheen verplaatst. Hierbij wordt ook een eventuele wachttijd bepaald.

Voor de doorstroming wordt nog een parameter van de transporter bepaald, namelijk de bestemming. In Figuur 4.1: Beweegstromen is te zien dat er voor sommige afvalstromen meerdere opties zijn voor laden en lossen. De eerste stroom waarvoor dit van toepassing is, is non-ferro metalen geleverd door particulieren. Deze kunnen naar de weegbrug worden gestuurd, en van daaruit naar een volgende locatie, of direct door naar de inkoophal voor metalen. De verdeling hiertussen is weergegeven in de tabel “*NFMPart*”, die wordt aangeroepen in de method voor de track “*Voorkantoor*”. De verdeling hiervan is te vinden in Tabel 6. Dit is de laatste track voor de weegbrug, en waar de splitsing plaatsvindt. De tweede stroom waar een splitsing in de route voorkomt is papier. Deze stroom heeft 3 loslocaties en 2 laadlocaties. Voor het bepalen waar een wagen van deze stroom heen moet, is de tabel “*Papier*” toegevoegd. Hierin staan de verdelingen van archief en niet-archief, en de verdeling tussen de laadlocaties. In tabel Tabel 7 zijn de verdelingen weergegeven. Deze tabel wordt aangeroepen door de method die gekoppeld is aan de weegbrug en het weegproces nabootst. Op basis van de kansverdeling in deze tabel rijdt een wagen naar archief, papierhal, laadbrug of laadpunt achter de weegbrug. De laatste loslocatie, in de hoek van de nieuwe loads, wordt gebruikt wanneer een wagen wil lossen bij de papierhal, maar deze al bezet is.

Op de locaties waar wagens geladen, gelost of gewogen worden staat een wagen even stil. De handeling wordt nagebootst in het model. Zodra de handeling klaar is, kan de wagen weer verder rijden. Wanneer een transporter aan het einde van de track komt die bestemd is voor het laden of lossen, wordt er een check gedaan om te kijken of laden of lossen nodig is. Aan het eind van de handeling verandert de parameter die het gewicht van de lading weergeeft. Met een check of het gewicht niet overeenkomt met de parameter vol of leeg kan worden nagegaan of de transporter inderdaad de handeling heeft doorstaan. Deze check wordt ook gebruikt om te kijken naar welke track een transporter heen wordt geleid.

Bestemming	Percentage
Inkoop Metaal	92,25%
Weegbrug	7,75%

Tabel 6: Verdeling non-ferroroutes voor particulieren

Bestemming	Percentage (vol)	Percentage (leeg)
Laadbrug	0%	50%
Laadpunt achter weegbrug	0%	50%
Archiefhal	8,43%	0%
Papierhal	91,57%	0%

Tabel 7: Verdeling papierroutes

Simuleren van procestijden

Zoals vermeld worden handelingen nagebootst in het model. Onder de handelingen vallen in het model het laden, lossen en wegen van wagens. Voor het nabootsen van deze handelingen zijn in het model een aantal *SingleProcs* aangemaakt. Een *SingleProc* is een object in het model dat een werkzaamheid nabootst. Naast *SingleProcs* is er ook de mogelijkheid tot *ParallelProcs*. Het verschil hiertussen is het aantal processen dat tegelijk op één locatie kan worden uitgevoerd. De keuze is gemaakt voor *SingleProcs*, omdat er maar één wagen per locatie tegelijk kan worden geladen, gelost of gewogen. Aan de *SingleProc* is een tijdsduur gekoppeld die bepaald hoe lang de handeling duurt. De ingevoerde procestijden zijn te vinden in Tabel 8.

Locatie/object	Verdeling tijden
Source	Normaal (5:34 , 0:48)
Wegen	Gamma (4.73 , 18.24)
Hout Laden	Gamma (4.13 , 325.85)
Hout Lossen	Gamma (3.68 , 187.77)
Kunststof Laden	Normaal (19:11 , 12:36)
Kunststof Lossen	Gamma (13:30, 6:39)
Non-ferro Laden	Normaal (35:07 , 20:00)
Non-ferro Lossen	Gamma (1.92, 348.94)
Ferro Laden	Normaal (33:00 , 12:45)
Ferro Lossen	Normaal (10:52 , 8:49)
Archief	Gamma (2.46 , 334.11)
Papierhal	Normaal (8:20 , 3:00)
Lossen nieuwe loods	Normaal (8:20 , 3:00)
Laadbrug	Normaal (44:15 , 12:48)
Laden achter weegbrug	Normaal (40:51 , 11:45)
Inkoop Metaal	Normaal (12:24 , 4:23)

Tabel 8: Procestijden in simulatiemodel

De verdelingen van deze tijden zijn gevonden met behulp van de data van het bedrijf en met eigen observaties. De data van de weegbrug, inkoop metaal, papierhal, laadbrug, en het laadpunt achter de weegbrug zijn met eigen observaties vergaard, de andere data is verkregen uit de data van het bedrijf. Voor de eigen observaties zijn tenminste 8 tijden gemeten, aangevuld met metingen en schattingen van personeel dat op die locaties aanwezig is tijdens het laden of lossen.

Over de verzamelde gegevens zijn in Excel berekeningen gedaan om de gemiddelden en standaarddeviaties te vinden. Daarnaast zijn histogrammen gemaakt waarin de frequentie van een tijdsduur zijn weergegeven. Aan de hand hiervan is bepaald welke verdeling het beste past, en welke waarden hiervoor gebruikt worden. In Appendix A: Histogrammen tijdsduur laden en lossen worden deze histogrammen weergegeven.

Opslaan van statistieken

De laatste taak van het simulatiemodel is het bijhouden en opslaan van statistieken. Hiervoor zijn er in de methods een aantal opdrachten opgenomen. In het model worden statistieken bijgehouden over de gemiddelde procestijd van het laden, lossen en wegen, hoe vaak er wordt geladen en gelost op elke locatie, worden wachttijden per traject en de gemiddelden hiervan opgeslagen, en wordt bijgehouden hoe vaak er gewacht moet worden op de verschillende locaties. Met deze informatie kan worden bekeken waar het op de werf het vaakste vast komt te staan en waar er het langste gewacht moet worden. Als eerste wordt er voor elke handeling de tijdsduren opgeslagen. Hiermee kan worden gekeken naar de invloed van deze handelingen op de doorstroming. Als laatste kan uit deze data worden bekeken hoe de wachttijd zich verhoudt tot de totale verblijftijd.

4.3. Setup van de experimenten

In hoofdstukken 4.1 en 4.2 is uitgelegd hoe het simulatiemodel is ontworpen en geïmplementeerd in het programma Tecnomatix Plant Simulation. Voordat tests gerund kunnen worden met het model, moet er eerst nog worden gekeken naar de lengte van de runs, en het aantal replicaties. Hiervoor worden berekeningen uitgevoerd met behulp van Excel.

Replicaties

Naast de warm-up periode moet ook het benodigde aantal replicaties worden berekend. Het aantal replicaties moet berekend worden om zeker te zijn dat er genoeg output verzameld wordt, om iets te kunnen zeggen over de prestaties van de simulatie (Robinson, 2014, p. 182). Evenals de warm-up periode wordt ook het benodigde aantal replicaties in Excel berekend. In Excel wordt een T-toets uitgevoerd om te bepalen bij hoeveel replicaties de foutmarge onder de alfa van de formule uitkomt. De T-toets wordt gebruikt vanwege de bepaling van het betrouwbaarheidsinterval in simulatiestudies. De alfa geeft het significantieniveau waarop de formule wordt gebruikt weer. Het betrouwbaarheidsinterval vertelt of de uitkomst van een onderzoek precies genoeg is (Robinson, 2014, pp. 184-185).

In Appendix B: Berekening aantal replicaties is de berekening te zien. De input zijn de gemiddelden van negen test runs van de simulatie, elk over 500 dagen. Vervolgens wordt uitgevoerd door achtereenvolgens het gemiddelde over de gemiddelden, de varianties over de gemiddelden, de T-waarden, en de error van de waarden te berekenen. Daarna komt in de kolom 'test' naar voren of het aantal replicaties genoeg is of niet door de error te vergelijken met 5%, de foutmarge voor een 95%-betrouwbaarheidsinterval. Hieruit blijkt dat bij twee of meer replicaties de uitkomst precies genoeg zijn om conclusies uit te kunnen trekken.

Uiteindelijke set-up

Met behulp van de berekeningen voor het aantal replicaties kan het model zo worden ingesteld dat de uitkomsten realistischer en betrouwbaarder worden. Het model geeft de dagelijkse bewegingen weer. Elke dag begint en eindigt leeg. Doordat er geen overlap zit van de ene dag op de andere, kunnen de replicaties achter elkaar in een batch gedraaid worden. Uit de berekeningen van de replicaties kwam naar voren dat er minimaal twee replicaties gedaan moeten worden. Om de betrouwbaarheid te vergroten, worden drie replicaties gedaan van 500 dagen. Deze lengte is arbitrair gekozen. Het doel van de lange runlengte is om genoeg data te verkrijgen voor de analyse.

4.4. Verificatie en validatie

Om te verzekeren dat het model sterk genoeg is, wordt gedurende het maken van het conceptueel model en later het computermodel continu getest op validiteit. Daarnaast moet ook de data die gebruikt wordt als input voor het model worden getoetst op validiteit, evenals dat de uitkomsten van het model te maken hebben met het doel van het onderzoek (Sargent, 1998).

Ten eerste wordt gekeken naar de validiteit van de data waarop het model gebaseerd is. De data is valide als deze in grote getale aanwezig is, en correct is (Sargent, 1998). De data die gebruikt is voor de input van het model is aangeleverd door het bedrijf en bedraagt 18 maanden aan gegevens over de wagens die aankomen op het terrein. Hier mag worden aangenomen dat de eigen data van het bedrijf correct is. Daarnaast is de data dusdanig omvangrijk dat de data adequaat is om te gebruiken voor de input van het model.

Om de validiteit van het conceptueel model te testen is gebruik gemaakt van face validation. Hiervoor is het model voorgelegd aan de hoofd productiemedewerker om te kijken of het model genoeg overeenkomt met de huidige situatie. Het opstellen van het conceptueel model is gedaan met behulp van de beweegstromen zoals weergegeven in hoofdstuk 3. De aannames die gedaan zijn tijdens het opstellen laten veel informatie achterwege. De invloed van deze informatie op het model kan aanzienlijk zijn. Voornamelijk de verdeling van het aantal wagens per dag van de week en per uur van de dag hebben invloed op het ontstaan van bottlenecks. Hierdoor zijn de resultaten van het simulatieonderzoek minder betrouwbaar. Daarnaast is de aanname dat interne voertuigbewegingen geen invloed hebben op de interne logistiek discutabel. Hoewel de argumentatie dat intern vervoer zich tussen extern vervoer manoeuvreert en daardoor weinig tot geen invloed heeft acceptabel klinkt, is dit te kort door de bocht om te kunnen stellen zonder onderzoek. Deze aannames beïnvloeden de betrouwbaarheid van het conceptueel model wel degelijk. De duur van de opstoppen als gevolg van deze bottlenecks is minder accuraat, doordat de verdeling niet geheel overeenkomt met de werkelijkheid. Met de gelijke verdeling van het aantal wagens per uur kan wel worden gekeken hoe lang een opstopping gemiddeld duurt. Voor het doel van het onderzoek, namelijk de analyse van de bottlenecks, is dit model echter precies genoeg om een conclusie te kunnen trekken.

Het computermodel is gevalideerd door middel van testen. Hierbij is gekeken of de bewegingen zoals getekend in het conceptueel model ook worden uitgevoerd in het computermodel. Met behulp van de animaties in Tecnomatix Plant Simulation is bekeken of de transporters de verwachte routes rijden. Daarnaast is tijdens besprekingen het model een aantal keer statisch getest door het doorlopen ervan om te kijken of het model correct is. Specifiek in de beginfase is dit gedaan om te bespreken waar het fout gaat bij het maken van het computermodel. De code is hierna niet specifiek besproken. Het computermodel geeft het conceptueel model goed weer. Er is echter wel onzekerheid over de locatie van het laden en lossen van kunststoffen in het model. Zoals vermeld in hoofdstuk 3.2.3 vallen kunststoffen ook onder onregelmatige afvalinzameling. Deze kunststoffen worden niet altijd op dezelfde plaats gelost en ingeladen. In het computermodel is dit wel altijd op één plaats. Het modelleren van wisselende laad- en lospunten van een materiaalstroom is te complex om te kunnen implementeren. De keuze om één vaste plaats aan te houden heeft een lichte negatieve invloed op de validiteit van het model. Desalniettemin is het model nauwkeurig genoeg om het doel van het onderzoek te ondersteunen.

De operationele validiteit is getoetst door middel van het kijken naar de data die verkregen wordt uit een test run van het computermodel. Hierbij ligt de focus specifiek op de compleetheid van de

verkregen data, en hoe realistisch de verkregen data is. De compleetheid van de data houdt in dat de verkregen data alle gewenste informatie omvat. In dit onderzoek gaat het hier over informatie over de frequentie en duur op alle locaties waar mogelijk gewacht wordt. Alle benodigde informatie wordt verkregen uit het computermodel. Vervolgens is gekeken of de data ook realistisch is. Zoals vermeld is bijna alle input gebaseerd op data van het bedrijf. De verkregen data uit het model is vergeleken met de data van het bedrijf om te kijken of deze realistisch is. Uit een steekproefanalyse bleek dat de waarden van verkregen data over het aantal wagens per dag en per stroming binnen het bereik van de waarden van het bedrijf pasten. Doordat er geen exacte informatie beschikbaar is over de duur van het laden en lossen, is data uit het computermodel niet vergeleken met de realiteit. Echter, deze gegevens zijn behaald door gebruik van input uit de werkelijkheid. Het is aannemelijk dat de waarden uit het computermodel vergelijkbaar zijn aan de realiteit. Een nauwkeurige onderbouwing hiervoor is niet aanwezig.

Uit deze analyse van de verificatie en validatie kan worden geconcludeerd dat het model werkt voor het doel van het onderzoek. De data van het bedrijf is omvangrijk en nauwkeurig genoeg om gebruikt te kunnen worden voor de input van het model. Er zijn echter veel aannames gemaakt die de validiteit van het model in twijfel kunnen trekken. Daarnaast is het toetsen van de verkregen data uit het model niet grondig gebeurt, hetgeen kan leiden tot twijfels over de validiteit van het model. Dit leidt tot twijfel over de toepasbaarheid van het model voor mogelijk verder onderzoek, evenals tot mogelijke twijfel over de nauwkeurigheid van de uitkomsten van dit onderzoek.

5. Resultaten

Het doel van dit onderzoek is om antwoord te kunnen geven op de vraag waar opstoppeningen voorkomen op het terrein, als eerste stap in een groter onderzoek naar de optimale indeling van het terrein van Bedrijf X. Om hier een antwoord op te kunnen geven is een model gemaakt, waar verder mee gewerkt kan worden om de optimale situatie te onderzoeken. In dit hoofdstuk zal worden besproken wat de resultaten zijn van het simuleren van de huidige situatie.

5.1. Frequenties

Allereerst wordt er gekeken naar de knelpunten op het terrein. Uit de simulatie komen een aantal plekken naar voren waar op elke dag wagens vast komen te staan, voor kortere of langere perioden. Deze punten zijn bij de weegbrug, en voor het lossen in de papierhal. Gemiddeld staan 36 wagens per dag te wachten voor de weegbrug uit de richting ingang, en 20 à 21 keer per dag voor de weegbrug uit de richting papierhal. Daarnaast staat het gemiddeld 12,4 keer per dag stil bij de weegbrug voor wagens die komen voor non-ferro metalen of voor het laden van papier achter de weegbrug. In appendix C.1: Aantal wachtende wagens op locaties staan de frequenties in grafiekvorm uitgewerkt. Bijna alle grafieken hebben een paraboolvorm van het aantal wachtende wagens per dag, wat betekent dat de waarden rond de gemiddelden het vaakst voorkomen.

Naast de weegbrug komt uit de data van de simulatie naar voren dat het voor de papierhal ook regelmatig vast komt te staan. Gemiddeld staat het 19,5 keer per dag stil hier. Ook hiervan zijn de frequenties weergegeven in appendix C.1: Aantal wachtende wagens op locaties. Op de overige delen van het terrein komt het sporadisch tot stilstand. De meest voorkomende frequenties van stilstaande wagens per dag zijn 0, 1, of 2 keer. Uitzonderingen hierop zijn de delen die aansluiten op het verbindingstuk tussen de ingang en de weegbrug, oftewel de takken die bijeenkomen bij de kruising bij de ingang.

In tabel 9 wordt deze informatie nogmaals weergegeven.

	Ingang naar weegbrug	Loods naar weegbrug	Weegbrug naar papierhal	Weegbrug naar ijzerterrein	Overig naar weegbrug
Gemiddelde	36	20,8	19,5	5,5	12,4
Modus	36	19	19	4	12
Variantie	38,1	18,7	21,6	12,3	13,2

Tabel 9: Gemiddelden, modus en variantie van aantal wachtende wagens per dag

Buiten de identificatie van veelvoorkomende knelpunten wordt ook gekeken naar de zwaarte van de knelpunten, oftewel hoelang het vast komt te staan. Dit wordt gedaan aan de hand van de frequentie van wachttijden over 5 minuten, en de gemiddelde wachttijden van zowel alle wachtende wagens als de wagens die meer dan 5 minuten moeten wachten.

Uit de data van de simulatie blijkt dat er twee locaties zijn waar dagelijks wagens meer dan 5 minuten moeten wachten voor ze verder kunnen. Deze zijn voor het ijzerterrein en voor de papierhal. Gemiddeld moeten dagelijks 4 wagens meer dan 5 minuten wachten voor het ijzerterrein. Voor de papierhal moeten dagelijks zelfs 8 wagens langer dan 5 minuten wachten voor ze geholpen kunnen worden. Over het geheel zijn het er gemiddeld 14 per dag. Wat opvalt is dat er van de vijf trajecten waar veel gewacht wordt, maar twee met regelmaat wachttijden van 5 minuten of langer ondervinden. In tabel 10 is het gemiddelde aantal wagens per dag weergegeven dat op een bepaald traject langer dan 5 minuten moet wachten.

Locatie	Gemiddeld aantal wagens per dag
Ingang naar weegbrug	0,556
Losplaats bont	0,173
Loods naar weegbrug	0,384
Weegbrug naar papierhal	8,247
Weegbrug naar ijzerterrein	4,113
Voor laadbrug	0,249
Overig naar weegbrug	0,468

Tabel 10: Gemiddeld aantal wagens met wachttijd over 5 minuten per dag

In appendix C.2: Aantal wagens op locatie met wachttijd van meer dan 5 minuten is weergegeven hoe vaak er per dag langer dan 5 minuten gewacht wordt in totaal en op de genoemde locaties. Uit deze figuren blijkt dat het aantal lang wachtende wagens over alle locaties varieert tussen de 1 en 39 per dag, met tussen de 10 en 20 als meest voorkomende. Uit de laatste figuur in appendix C.2: Aantal wagens op locatie met wachttijd van meer dan 5 minuten blijkt dat dit overeenkomt met tussen de 11 en 20 procent van alle wagens op een dag die langer dan 5 minuten moet wachten.

In tabel 11 is deze informatie nog een keer weergegeven.

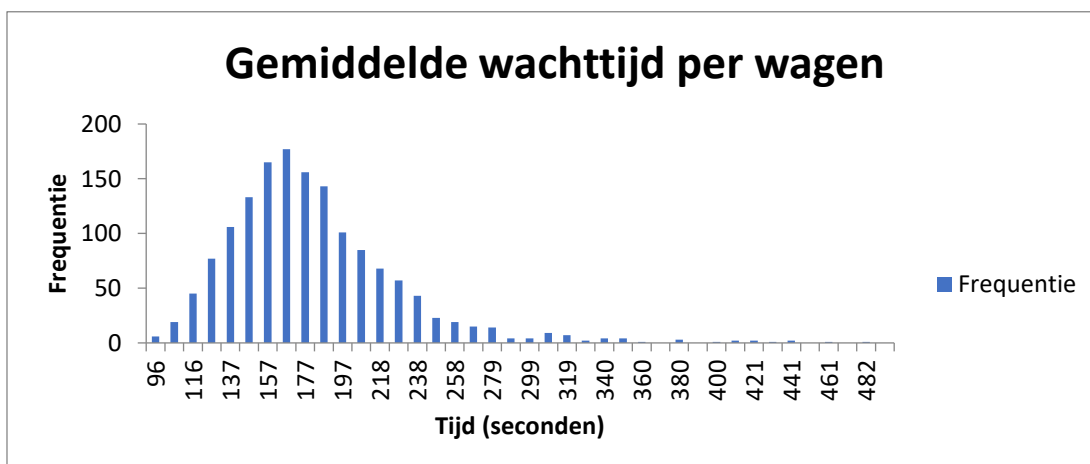
	IJzerterrein	Papierhal	Overall	Percentage overall
Gemiddelde	4,1	8,2	14	15,4%
Modus	2	8	13	16%-17%
Variantie	7,02	9,32	23,08	26,3%

Tabel 11: Gemiddelden, modus en variantie bij lange wachttijden

5.2. Wachttijden

In deze sectie wordt gekeken naar hoe lang er gewacht moet worden. Hiervoor wordt voornamelijk gekeken naar de delen van het terrein waar het bijna elke dag komt tot opstoppen, zoals eerder al genoemd.

In Figuur 5.1: Gemiddelde wachttijd per wagen per dag is weergegeven hoe vaak een gemiddelde wachttijd in seconden per wagen per dag voor is gekomen tijdens de simulatie. Gemiddeld wacht een wagen 176 seconden tijdens het verblijf op het terrein. Verder blijkt uit de figuur dat de gemiddelde dagelijkse wachttijd zelden boven de 5 minuten uitkomt.



Figuur 5.1: Gemiddelde wachttijd per wagen per dag, mits de wagen gewacht heeft

De frequenties van gemiddelde wachttijden per traject zijn weergegeven in appendix C.3: Wachttijd per locatie. Hieruit blijkt dat de gemiddelde wachttijd tussen de 2 en 6 seconden gemiddeld ligt voor alle trajecten, behalve voor het wachten voor het ijzerterrein waar het gemiddeld 17 seconden duurt. Een verklaring voor het grote verschil tussen de gemiddelde totale wachttijd en de gemiddelde wachttijden ligt in de manier waarop wachttijden worden opgeslagen. Een wachttijd van 1 seconde wordt ook meegenomen. De gemiddelde totale wachttijd per wagen wordt enorm omhoog gedrukt door de wagens die erg lang moeten wachten op een locatie. Daarnaast is in deze grafiek alleen gekeken naar wagens die gewacht hebben. Wagens met geen wachttijd zijn in deze berekening niet meegenomen. Om meer te kunnen zeggen over de wachttijden, wordt ook gekeken naar de wachttijden van 5 minuten en langer. In hoofdstuk 5.1 is ook al kort ingegaan op het voorkomen van lange wachttijden.

In appendix C.4: Wachttijden meer dan 5 minuten per locatie zijn de gemiddelde wachttijden per dag weergegeven, wanneer alleen die van 5 minuten of langer zijn meegenomen. Hiervoor zijn alleen de twee locaties meegenomen waar meer dan 1 wagen per dag gemiddeld langer dan 5 minuten moet wachten. In Tabel 10: Gemiddelden en varianties van de wachttijden voor ijzerterrein en papierhal voor waarden van 5 minuten of hoger zijn de gemiddelde wachttijd en variantie van de wachttijd voor deze situaties weergegeven.

	Voor ijzerterrein	Voor papierhal
Gemiddelde	751,36	468,95
Variantie	57358,23	3169,00

Tabel 10: Gemiddelden en varianties van de wachttijden voor ijzerterrein en papierhal voor waarden van 5 minuten of hoger

5.3. Conclusie

Met behulp van de resultaten van het simulatiemodel kan worden bepaald waar de bottlenecks zijn. Rondom de weegbrug komen voertuigen het vaakst vast te staan. Hierbij zit weinig verschil in de richting van waar de wagen komt aanrijden. Dit komt ook overeen met de observaties van het bedrijf. De wachttijden voor de weegbrug zijn niet altijd lang. Door de korte procestijd van de weegbrug kunnen wagens snel doorrijden. Het tegenovergestelde is het geval bij de papierhal en het ijzerterrein. Hier is beperkte ruimte, met een groter bereik van mogelijke procestijden die langer duren dan de weegbrug. De wachttijden lopen hier sneller op, met meerdere wagens per dag die langer dan 5 minuten wachten. Op deze drie punten valt de meeste tijdswinst te boeken.

6. Conclusie en aanbevelingen

Na het uitvoeren van de simulatie en het bestuderen van de data kan de onderzoeksvraag worden beantwoord. Deze luidde *“Waar zitten de bottlenecks in de interne logistiek van Bedrijf X, en hoe groot zijn deze?”*. Hiervoor is literatuuronderzoek gedaan om te definiëren wat onder interne logistiek valt, en wat efficiëntie inhoudt. Vervolgens is gekeken naar de huidige indeling van het terrein, waar vervolgens een simulatiemodel van gemaakt is. Hieruit zijn gegevens verzameld.

Zoals Slack et al. (2013) vermeldt is een overzicht van de huidige situatie nodig voordat er verbeteringen kunnen maken. Het doel van dit onderzoek is om een verbeteringsvoorstel te kunnen geven voor de huidige indeling aan de hand van een analyse van de huidige situatie.

Aan de hand van de uitkomsten van de simulatie kunnen de volgende conclusies worden gemaakt:

- Veel korte wachttijden die niet substantieel zijn maar wel voorkomen
- Groot aantal wachtende wagens uit alle richtingen voor de weegbrug
- Substantiële wachttijden voor het ijzerterrein en de papierhal

Uit de resultaten van de simulatie komt naar voren dat er elke dag heel vaak wagens even stil moeten staan. In de meeste gevallen is dit niet ernstig en bedraagt deze tijd een paar seconden. Over de gehele verblijftijd valt dit te verwaarlozen. De wachttijden vinden voornamelijk plaats rondom de weegbrug. Ook bij de ingang van de papierhal komt het geregeld vast te staan. Deze uitkomsten komen overeen met het gevoel dat ontstaat wanneer er naar buiten wordt gekeken vanuit het kantoor. De verklaring hiervoor is dat dit ook de drukste gebieden op het terrein zijn. Papier is de grootste afvalstroom die verwerkt wordt op het terrein, en brengt daarom ook de meeste voertuigen naar het terrein toe. De weegbrug is de centrale plek op het terrein waar bijna alle wagens twee keer langskomen. Vanwege deze drukte komt het dus ook voor dat wagens hier op elkaar moeten wachten.

Hoewel de frequentie van wachten hoog ligt, is deze niet regelmatig hoger dan 5 minuten. Op twee plaatsen komen wachttijden boven de 5 minuten vaker dan één keer per dag voor, namelijk voor het ijzerterrein en voor de papierhal.

Aanbevelingen

Aan het eind van dit onderzoek kunnen aanbevelingen worden gedaan voor vervolgonderzoek. Dit vervolgonderzoek zal de gaten in dit onderzoek dichtten en zich richten op het testen van mogelijke oplossingen om de efficiëntie van het bedrijf te verbeteren.

Ten eerste wordt aanbevolen om het huidige model aan te passen om nog meer overeen te komen met de werkelijke situatie. Het model zoals gemaakt is in staat om veel informatie te geven. Een manier waarop het model kan worden aangepast voor meer zekerheid is de toevoeging van een verdeling van het aantal wagens per uur van de dag, hierbij ook rekening houdend met de verschillende afvalstromen. In het model dat is opgesteld voor dit onderzoek is aangenomen dat het aantal wagens per uur nagenoeg hetzelfde is. In de praktijk zijn er richtlijnen om wagens van bepaalde typen te spreiden om zo de werklast voor de werknemers te verminderen, evenals het voorkomen van bepaalde opstoppen. Om het model betrouwbaarder te maken wordt deze toevoeging aangeraden.

Verder onderzoek naar de situatie is benodigd om zeker te zijn welke stappen moeten worden ondernomen om de efficiëntie van het bedrijf te verbeteren met aanpassingen uit het terrein. In dit onderzoek heeft de nadruk gelegen op de wachttijd die ontstaat door de aanwezigheid van externe vervoerders op het terrein. Hierbij is de aanwezigheid van wagens voor intern vervoer achterwege

gelaten, zoals beargumenteerd in hoofdstuk 4.1.6. Het is interessant om deze wagens ook mee te nemen in vervolgonderzoek. Naast de invloed die deze wagens mogelijk hebben op de wachttijden van externe vervoerders, biedt deze toevoeging aan het model verder onderzoeksmogelijkheden. De efficiëntie van het bedrijf in termen van energieverbruik voor het verplaatsen van materiaal op de werf kan met deze toevoeging worden onderzocht.

Uit de resultaten is gebleken dat het bij de weegbrug het vaakst vastloopt. Aan de hand van deze onderbouwde observering, lijkt een verplaatsing van het weegproces het meeste effect te hebben op het aantal wachtende wagens. Hoewel deze observatie alleen niet voldoende is om een verplaatsing te kunnen adviseren, is het voor het bedrijf voor vervolgonderzoek andere opties te bedenken voor de locatie van de weegbrug. Een vervolgonderzoek naar mogelijke locaties kan zo sneller werken aan het testen van oplossingen. Hierbij adviseer ik ook om de effecten van de toevoeging van een tweede weegbrug te onderzoeken. Deze zou ik als eerste testen op de locatie van het schuifhek aan de zuidkant van het terrein. Met een verdeelde inrichting van het terrein zou met de toevoeging hiervan de interne bewegingen erg kunnen verminderen.

Een andere verandering die de efficiëntie van de interne logistiek kan verbeteren is een andere locatie voor de opslag van kunststoffen en bont papier. Tijdens eigen observaties is opgevallen dat kunststof, in tegenstelling tot in het model, niet altijd op dezelfde plaats wordt opgeslagen. Hierdoor zijn er meer interne bewegingen nodig om deze te verplaatsen naar een andere locatie. Bont papier wordt opgeslagen in de hoek van de loods die het verst van de balenpersen is. Intern vervoer moet een grotere afstand bereizen om dit papier naar de balenpersen te brengen. Na toevoeging van interne bewegingen in het model, zou hier ook onderzoek naar gedaan kunnen worden.

Bibliografie

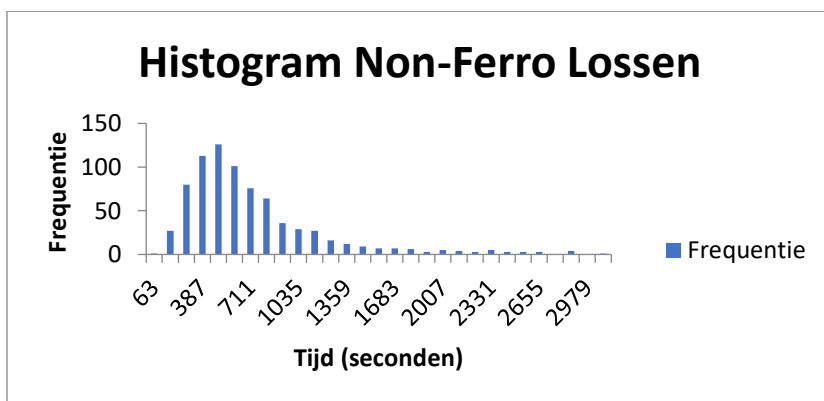
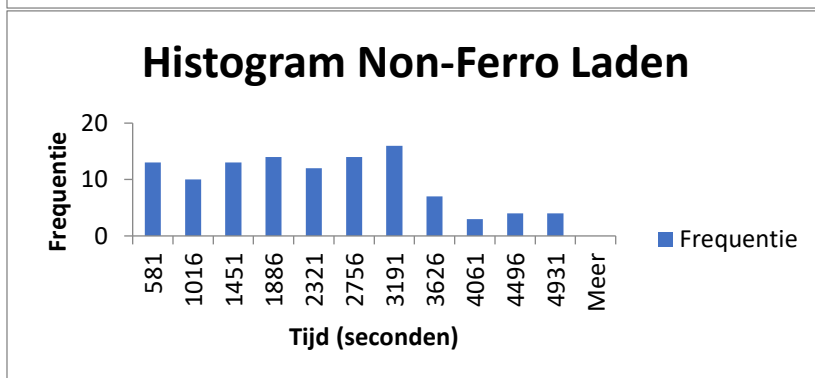
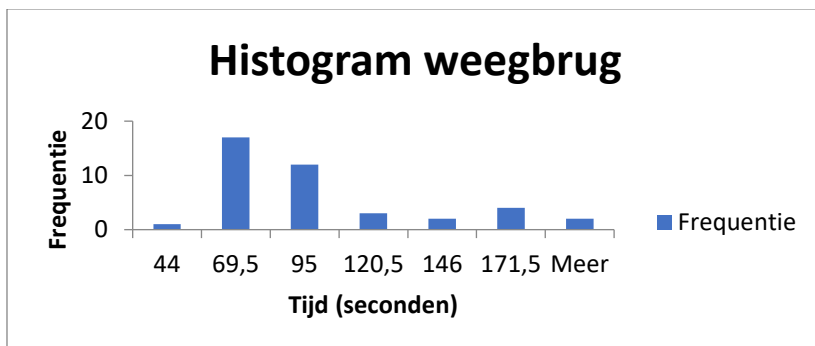
- Banks, J. (1998). *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. John Wiley & Sons.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (6e ed.). Harlow, United Kingdom: Pearson Education.
- Franco-Santos, M., Kennerley, M., Micheli, P., Martinez, V., Mason, S., Marr, B., . . . Neely, A. (2007). Towards a Definition of a Business Performance Measurement System. *International Journal of Operations and Production Management*, 784-801.
- Fried, H. O., Lovell, C. K., & Schmidt, S. S. (2008). *The measurement of productive efficiency and productivity growth*. Oxford University Press.
- Granlund, A. (2011). *Competitive Internal Logistics Systems Through Automation*. Västerås: Mälardalen University.
- Harrison, A., & Van Hoek, R. (2008). *Logistics Management and Strategy* (3e ed.). Harlow: Pearson Education.
- Heerkens, H., & Van Winden, A. (2012). *Geen Probleem: Een aanpak voor alle bedrijfskundige vragen en mysteries*. Buren: Business School Nederland.
- Hensen, J. L., & Lamberts, R. (2011). *Building Performance Simulation for Design and Operation*. London: Spon Press.
- Lai, K.-H., Ngai, E., & Cheng, T. (2004). An empirical study of supply chain performance in transport logistics. *International Journal of Production Economics*, 321-331.
- Law, A. M. (2008). How to Build Valid and Credible Simulation Models. *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, 39-47.
- Law, A. M., & McComas, M. G. (1998). Simulation of manufacturing systems. *Simulation Conference Proceedings*, (pp. 49-52).
- Lummus, R. R., Krumwiede, D. W., & Vokurka, R. J. (2001). The relationship of logistics to supply chain management: developing a common industry definition. *Industrial Management & Data Systems*, 426-432.
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., Smith, C. D., & Zacharia, Z. G. (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, 1-25.
- Pace, D. K. (2000). Ideas About Simulation Conceptual Model Development. *Johns Hopkins APL Technical Digest, Volume 21, Number 3*, 327-336.
- Robinson, S. (2014). *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. New York: Palgrave Macmillan.
- Sabóia, E. M., Duclós, L. C., Quandt, C. O., & Souza, A. (2006). Strategic management indicators for internal logistics: a proposal based on the Balanced Scorecard for an automotive sector company. *12th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Fortaleza.
- Sargent, R. G. (1998). "Verification And Validation Of Simulation Models". Electrical Engineering and Computer Science. 7. <https://surface.syr.edu/eecs/7>

- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2013). *Operations Management* (7e ed.). Harlow, United Kingdom: Pearson Education.
- Tako, A., & Robinson, S. (2012). The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. *Decision Support Systems*, 802-815.
- Taylor, S. J., Eldabi, T., Riley, G., Paul, R. J., & Pidd, M. (2009). Simulation modelling is 50! Do we need a reality check? *Journal of the Operational Research Society*, 69-82.
- Tseng, Y.-y., Yue, W. L., & Taylor, M. A. (2005). The Role of Transportation in Logistics Chain. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 1657-1672.
- Bedrijf X. (2018, Augustus 2). Retrieved from <Link verwijderd>

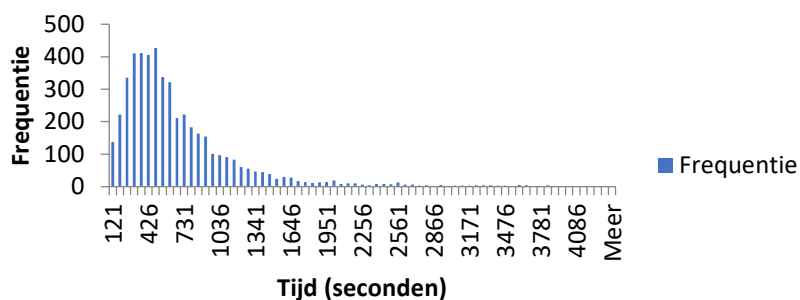
Appendix

Appendix A: Histogrammen tijdsduur laden en lossen

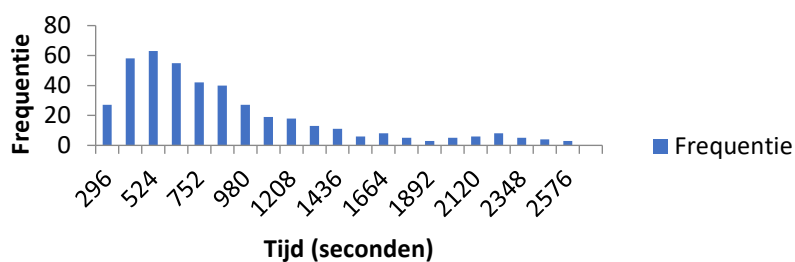
De histogrammen geven weer hoe vaak elke duur voorkomt. Hoe hoger de kolom, hoe vaker een procestijd in dat tijdsblok voorkomt.



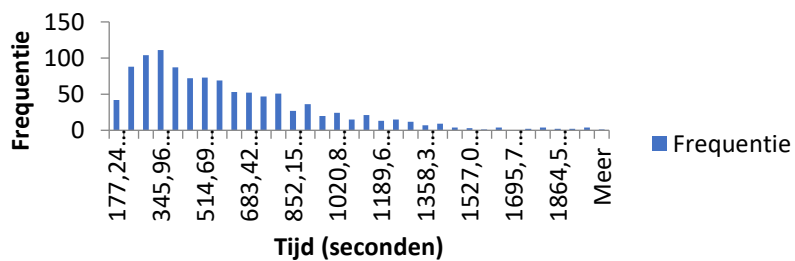
Histogram Ferro Lossen



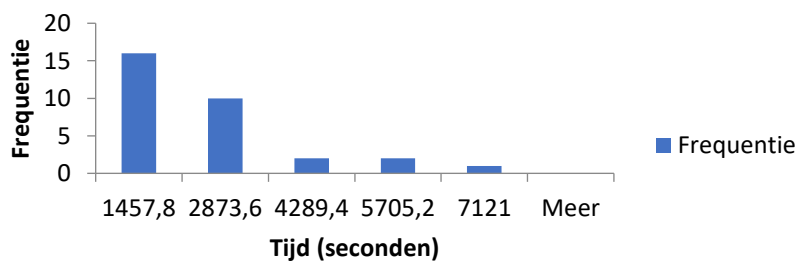
Histogram Archiefhal

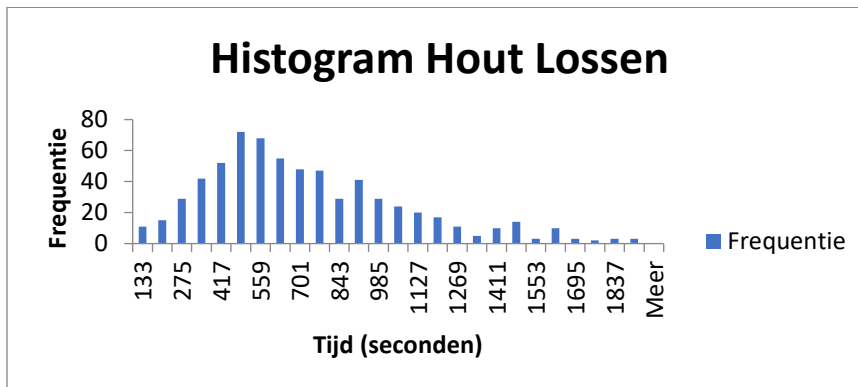
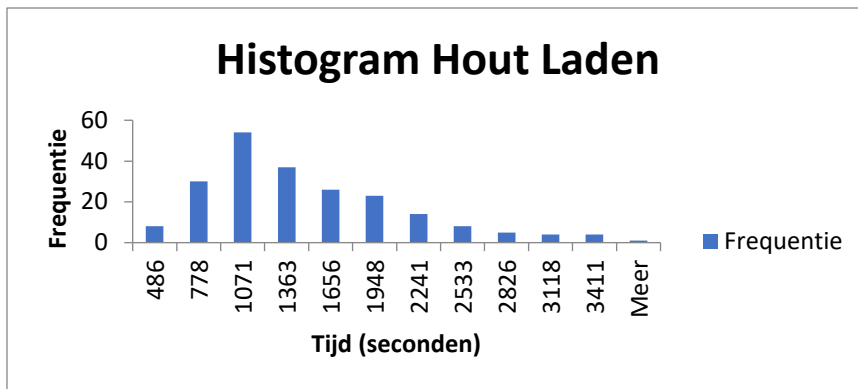


Histogram Kunststof Lossen



Histogram Kunststof Laden

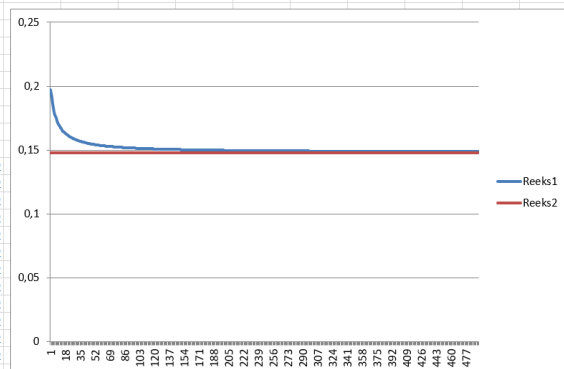




Appendix B: Berekening aantal replicaties

Deze Excel sheet geeft de berekening voor het benodigde aantal replicaties weer. Hiervoor wordt een statistische T-toets uitgevoerd met een betrouwbaarheidsinterval van 95%. In kolom B staan de gemiddelde waarden van de wachttijd over 9 hele runs van 100 dagen. Kolom C geeft het gemiddelde van de KPI's weer, gemeten vanaf de bovenste rij tot de KPI op de rij waar geschreven wordt. Kolom D geeft de variantie van de KPI's weer over hetzelfde bereik. Kolom E geeft de T-waarde weer. Kolom F geeft de error weer, oftewel de foutmarge van de KPI's. In kolom G wordt deze error vergeleken met de alfa om te bepalen bij hoeveel replicaties er genoeg data beschikbaar is om te zeggen dat deze nauwkeurig is. De alfa is 0.05, gelijk aan 1-betrouwbaarheidsinterval. Hieruit blijkt dat 2 replicaties genoeg informatie geeft om de werkelijkheid nauwkeurig genoeg weer te geven.

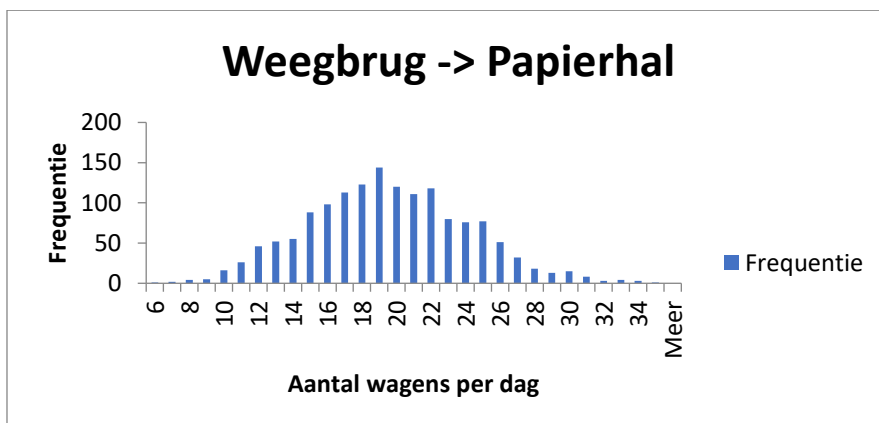
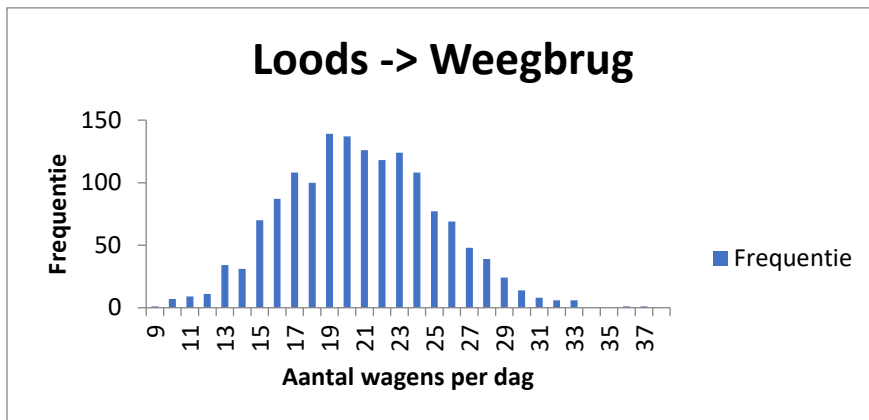
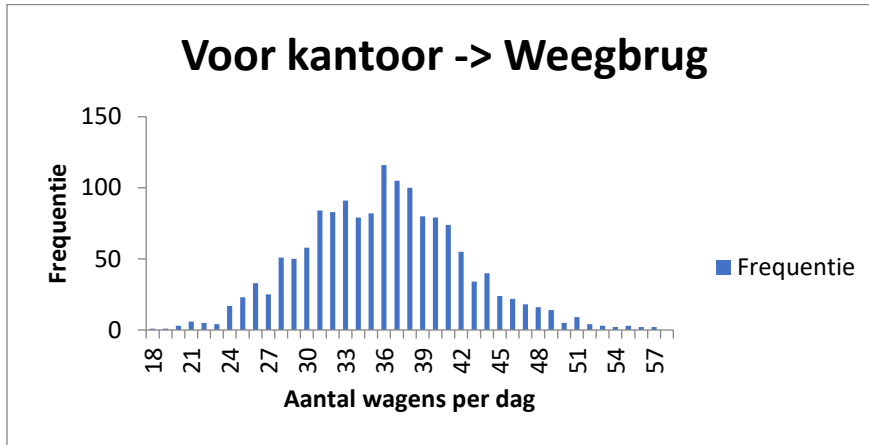
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	n	KPI	Mean	Var	Tvalue	Error	Test	Schatting1	Schatting2													
2	1	177,1614																				
3	2	176,7189	176,9402	0,097897	12,7062	0,015888	GENOEG															
4	3	175,7814	176,5539	0,496536	4,302653	0,009915	GENOEG															
5	4	176,0578	176,4299	0,392557	3,182446	0,005651	GENOEG															
6	5	176,9411	176,5321	0,346692	2,776445	0,004141	GENOEG															
7	6	171,472	175,6888	4,544869	2,570582	0,012734	GENOEG															
8	7	175,9612	175,642	3,802722	2,446912	0,010268	GENOEG															
9	8	175,5397	175,6292	3,260784	2,364624	0,008596	GENOEG															
10	9	174,6124	175,5162	2,968059	2,306004	0,007545	GENOEG															
11	10		175,5162	2,968059	2,262157	0,007022	GENOEG	0,197216613	0,148050572													
12	11		175,5162	2,968059	2,228139	0,006594	GENOEG	0,191329727	0,148050572													
13	12		175,5162	2,968059	2,200985	0,006237	GENOEG	0,186694781	0,148050572													
14	13		175,5162	2,968059	2,178813	0,005932	GENOEG	0,182952267	0,148050572													
15	14		175,5162	2,968059	2,160369	0,005667	GENOEG	0,179867908	0,148050572													
16	15		175,5162	2,968059	2,144787	0,005436	GENOEG	0,177282619	0,148050572													
17	16		175,5162	2,968059	2,131145	0,00523	GENOEG	0,175084646	0,148050572													
18	17		175,5162	2,968059	2,119905	0,005047	GENOEG	0,173193213	0,148050572													
19	18		175,5162	2,968059	2,109816	0,004881	GENOEG	0,171548505	0,148050572													
20	19		175,5162	2,968059	2,100922	0,004731	GENOEG	0,170105291	0,148050572													
21	20		175,5162	2,968059	2,093024	0,004594	GENOEG	0,168828743	0,148050572													
22	21		175,5162	2,968059	2,085963	0,004468	GENOEG	0,167691611	0,148050572													
23	22		175,5162	2,968059	2,079614	0,004352	GENOEG	0,166672269	0,148050572													
24	23		175,5162	2,968059	2,073873	0,004245	GENOEG	0,165753341	0,148050572													
25	24		175,5162	2,968059	2,068658	0,004145	GENOEG	0,164920703	0,148050572													
26	25		175,5162	2,968059	2,063899	0,004052	GENOEG	0,16416276	0,148050572													
27	26		175,5162	2,968059	2,059539	0,003965	GENOEG	0,163469901	0,148050572													
28	27		175,5162	2,968059	2,055529	0,003883	GENOEG	0,162834097	0,148050572													
29	28		175,5162	2,968059	2,051831	0,003806	GENOEG	0,162248585	0,148050572													

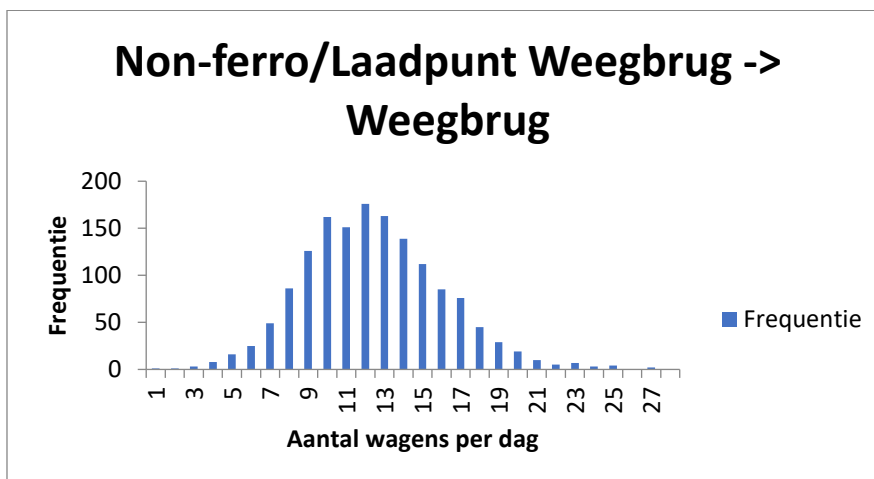
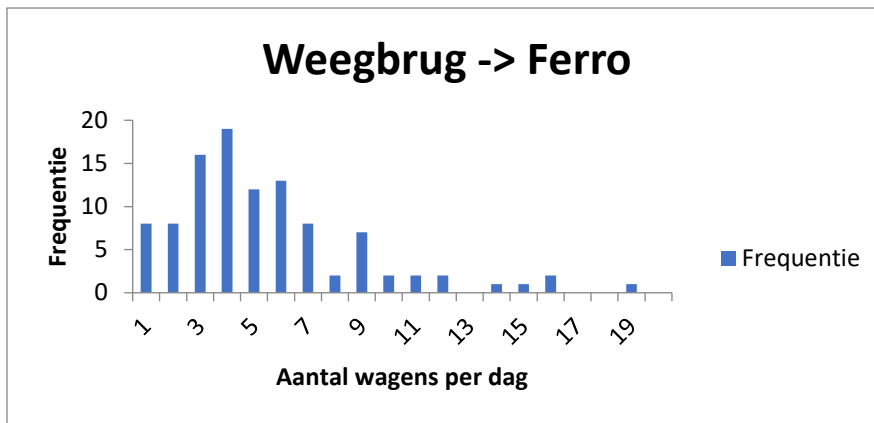


Appendix C: Resultaten simulatie

C.1: Aantal wachtende wagens op locaties

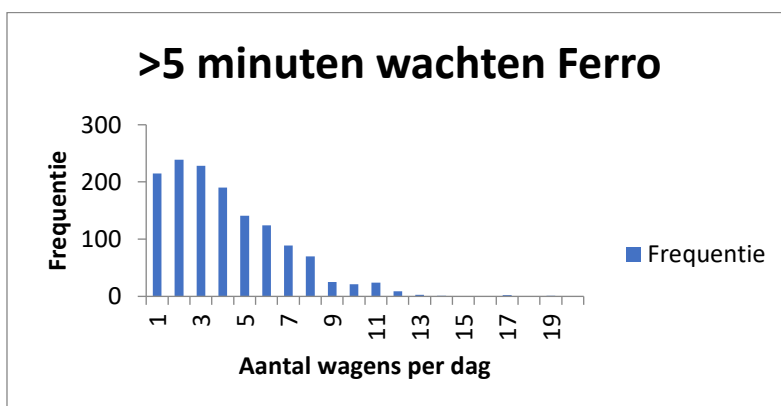
De titel van elke grafiek geeft weer over welk traject de frequenties zijn weergegeven. Bij alle grafieken is de frequentie van het aantal dagen waarop een aantal wachtende wagens voorkomt geplot.



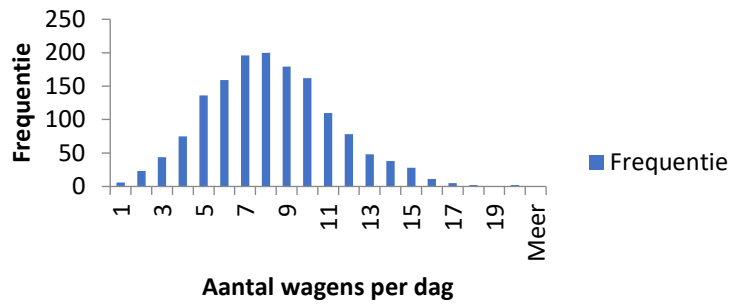


C.2: Aantal wagens op locatie met wachttijd van meer dan 5 minuten

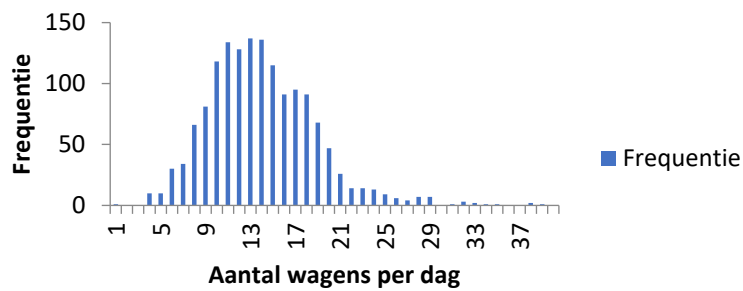
De eerste figuur geeft de frequentie van het aantal wagens dat langer dan 5 minuten moet wachten voor het ijzerterrein weer. De tweede figuur geeft hetzelfde weer, alleen dan voor de papierhal. De derde figuur geeft de frequentie weer hoeveel wagens over alle locaties langer dan 5 minuten wachten per dag. De laatste figuur geeft weer hoe veel procent van de wagens langer dan 5 minuten moet wachten gedurende een bezoek aan de werf op een dag.



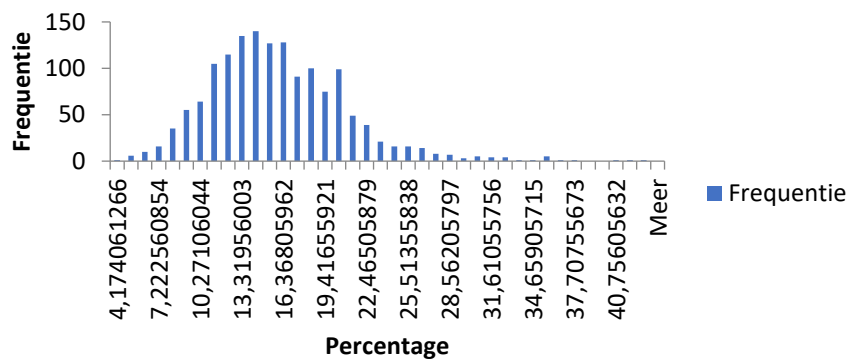
>5 minuten wachten Papierhal



>5 minuten wachten overall

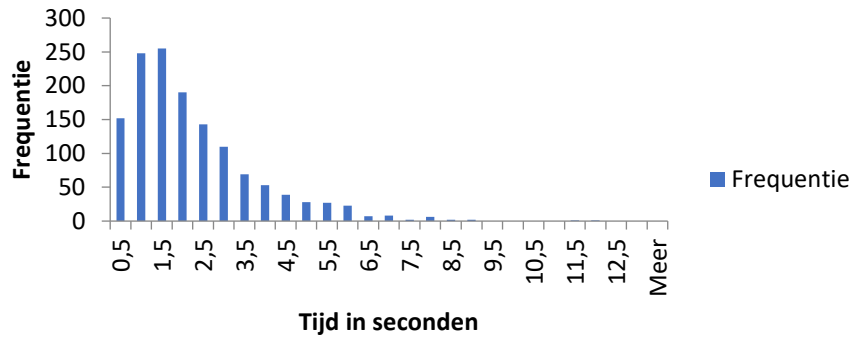


Percentage >5 minuten wachten

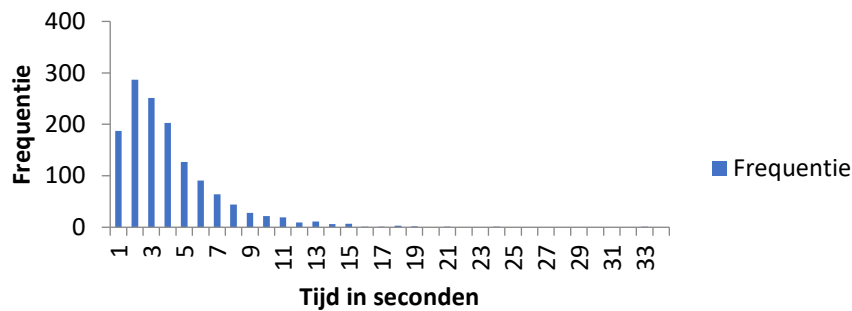


C.3: Wachtijd per locatie

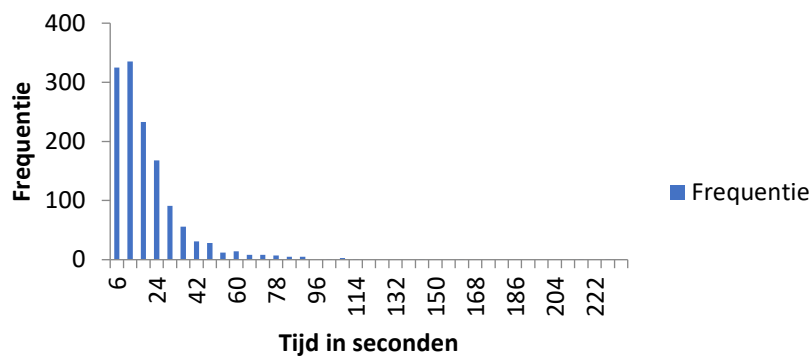
Gemiddelde wachtijd ingang naar weegbrug

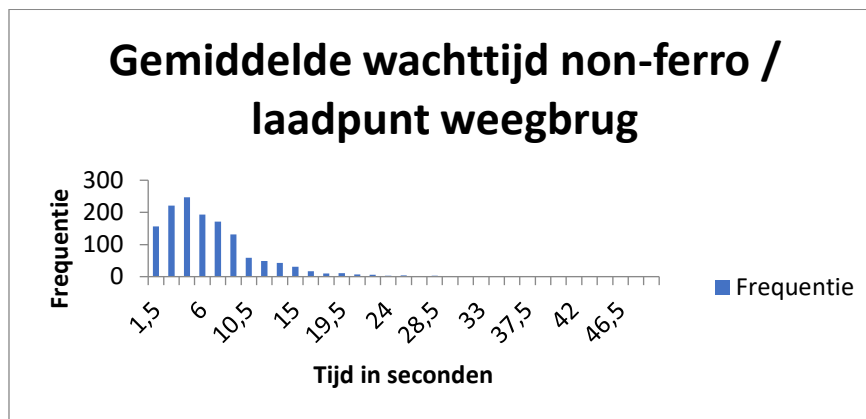
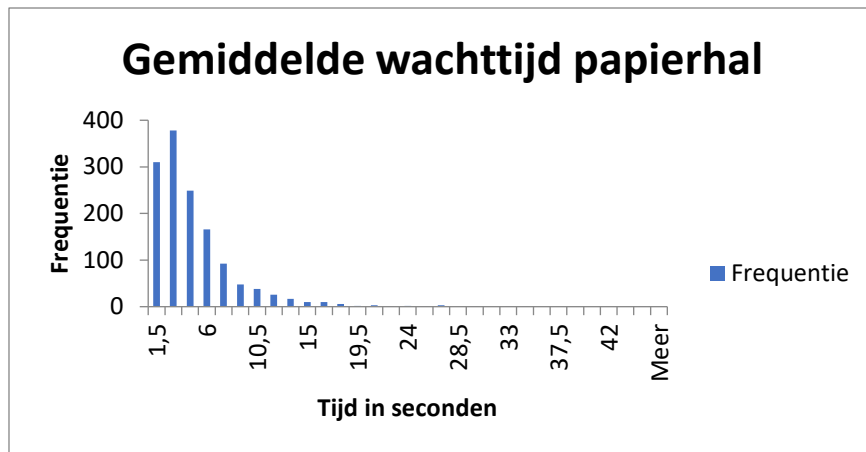


Gemiddelde wachtijd loods naar weegbrug



Gemiddelde wachtijd ijzerterrein





C.4: Wachttijden meer dan 5 minuten per locatie

