

Capaciteitsanalyse bij Twence

Een simulatieonderzoek naar capaciteit
en doorlooptijd

M.H.T. Jonkheim

8-5-2018

Beoordelaars Universiteit Twente: Dr. ir. M.R.K. Mes

Dr. ir. J.M.J. Schutten

SAMENVATTING

In 2015 is Twence B.V. gestart met een onderzoek naar de mogelijkheden voor het bouwen van een nieuwe nascheidingshal. Als gevolg van de verbouwing moet het wegennet op het terrein van Twence aangepast worden. De voorgestelde aanpassing is het veranderen van de Hoofdas van eenrichtingsverkeer naar tweerichtingsverkeer. Het onderzoeksbureau Ergo Design heeft onderzoek gedaan naar de logistieke knelpunten die ontstaan bij de voorgestelde aanpassing. De conclusie van Ergo Design was dat de huidige capaciteit van Twence niet toereikend is voor de toekomstige verkeersstromen. Dit was voor Twence reden om een onderzoek te starten naar de huidige capaciteit van het terrein. Daarnaast heeft Ergo Design aanbevelingen gedaan voor het verbeteren van de doorloop bij de weegbrug, deze wilde Twence ook getest hebben.

Het doel van dit onderzoek is om te achterhalen wat de capaciteit van Twence is en wat Twence kan doen om deze te vergroten. Dit heeft tot de volgende onderzoeksvraag geleid: *Hoe groot is de capaciteit op het terrein van Twence, is dat toereikend voor de toekomst en welk effect heeft de capaciteit op de doorlooptijd?* De doorlooptijd is hier de totale tijd die een voertuig op het terrein doorbrengt, deze wil Twence graag minimaliseren.

Omdat het bepalen van de capaciteit bij een groot terrein, zoals dat van Twence, erg complex is, is ervoor gekozen om de hoofdvraag te beantwoorden met behulp van computer simulatie.

Als eerste is met behulp van literatuur het begrip capaciteit uitgewerkt. De belangrijkste conclusie van het literatuuronderzoek is dat de capaciteit van een productie systeem afhangt van de doorzet van de bottleneck en dat deze afhangt van de aankomst- en procestijden van de verschillende entiteiten.

Vervolgens zijn de aankomsttijden bepaald doormiddel van een analyse van gegevens uit SAP. De aankomsten bij een entiteit zijn verdeeld in externe en interne ritten. De externe aankomsten zijn gemiddeld naar het type voertuig, de entiteit waar het voertuig heen gaat en het uur waarop het voertuig aankomt bij Twence. De procestijden zijn bepaald aan de hand van observaties bij de verschillende entiteiten. De procestijden bestaan uit de lostijden van de verschillende type voertuigen bij de entiteiten, de wisseltijden bij de container wisselplaats en de inweeg en uitweegtijden bij de verschillende weegbruggen.

Er zijn twee verschillende simulatiemodellen gemaakt één om de capaciteit te bepalen en een ander om de aanbevelingen van Ergo Design te onderzoeken. Voor beide simulaties is ervoor gekozen om het aantal aankomsten te variëren en de effecten hiervan te meten.

Uit de simulatie blijkt dat de weegbrug de bottleneck is. Daarnaast voldoet de capaciteit voor de huidige aantallen aankomsten. Zowel de wachttijden als de kans om in een wachtrij te komen zullen sterk toenemen wanneer het aantal aankomsten met 25% stijgt. Daarnaast is de lange termijn doorzet gemiddeld het hoogst bij een stijging van de aankomsten met 25%. Dit komt neer op 375 voertuigen per dag.

Het voorstel van Ergo Design was om de weegbrug op te splitsen in een snelle en langzame stroom en om een parkeerplaats voor de weegbrug aan te leggen waarop voertuigen kunnen wachten. Beide ideeën zorgen niet voor een afname in doorlooptijd. Bij het splitsen van de weegbruggen wordt de doorlooptijd zelfs langer doordat de capaciteit van de weegbrug afneemt.

De twee belangrijkste uitdagingen voor Twence zijn wachtplaatsen te vinden of creëren voor de huifwagens en de variabiliteit in de aankomsten verminderen. Voor het stallen van de huifwagens zou het plan van Ergo Design in gereduceerde vorm uitgevoerd kunnen worden. Dit zal de kosten drukken en toch voordeel bieden op het gebied van veiligheid en werkdruk. Hierbij moet er wel onderzocht worden hoeveel parkeerplekken nodig zijn. Ten slotte zou Twence de variabiliteit in aankomsten kunnen verminderen door beter af te stemmen met de klanten.

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	1
Inhoudsopgave	3
<i>Hoofdstuk 1 Inleiding</i>	5
1.1 Introductie	5
1.2 Aanleiding	6
1.3 Probleemstelling	7
1.4 Onderzoeksvragen	12
1.5 Onderzoeksstrategie	12
Hoofdstuk 2 Overzicht Terrein, aankomsten en proces van Twence	14
2.1 Het terrein	14
2.2 De voertuigen	24
2.3 Het proces	27
2.4 Samenvatting	28
Hoofdstuk 3 Literatuuronderzoek	29
3.1 Capaciteit	29
3.2 Weg capaciteit	34
3.5 Samenvatting	41
Hoofdstuk 4 Huidig situatie	43
4.1 Aankomsten	43
4.2 Procestijden	46
4.3 Maximale capaciteit zonder variabiliteit	48
4.4 Doorlooptijden	52
4.5 Conclusies	54
Hoofdstuk 5 Simulatie	56
5.1 Concept model	56
5.2 Het simulatie model	66
5.3 Opzet simulatie experimenten	76
5.4 Verificatie en validatie	79

5.5 De experimenten	81
5.6 Samenvatting	85
Hoofdstuk 6 Simulatie resultaten	86
6.1 Simulatie huidige situatie	86
6.2 Capaciteit entiteiten	87
6.3 Kosten wachtrijen	93
6.4 Samenvatting	94
Hoofdstuk 7 Voorstellen ter verbetering doorlooptijd Twence	96
7.1 Mogelijke verbeteringen doorlooptijd	96
7.2 Concept model Ergo Design	97
Hoofdstuk 8 Conclusie	100
Literatuurlijst	102
Bijlagen	104

HOOFDSTUK 1 INLEIDING

Het doel van dit hoofdstuk is om het onderzoek in te leiden. Hiertoe wordt als eerst in paragraaf 1.1 het bedrijf Twence B.V. geïntroduceerd. Als tweede wordt in paragraaf 1.2 de aanleiding van de opdracht van Twence omschreven. Daarna wordt in paragraaf 1.3 de opdracht verder uitgewerkt en een oplossingsrichting aangedragen, hieruit volgen de onderzoeksvraag en sub vragen die in paragraaf 1.4 worden beschreven. Als laatste wordt in paragraaf 1.5 de onderzoeksstrategie uitgewerkt.

1.1 INTRODUCTIE

Twence B.V. in Hengelo, hierna Twence genoemd, behoort tot de grootste producenten van duurzame energie in Nederland (Twence B.V., 2015). De energie die Twence opwekt wordt gewonnen uit afvalstromen en biomassa; hierdoor draagt Twence onder andere bij aan de vermindering van CO₂-uitstoot. De afvalstromen en biomassa komen uit Nederland, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk (Twence B.V., 2014, pp. 13-14).

Met de energie die Twence uit de afvalstromen opwekt kunnen 75.000 huishoudens worden voorzien in hun energie behoefte (Twence B.V., 2015). Daarnaast wordt er genoeg stoom en warmte geproduceerd voor 57.000 huishoudens (Twence B.V., 2015). Twence levert stoom, warmte en energie aan onder meer Akzo Nobel, Universiteit Twente, Grolsch Veste en de gemeentes Enschede, Hengelo en Almelo. En met 220 werknemers en een omzet van meer dan 100 miljoen euro is Twence ook een belangrijke economische factor in de regio (Twence B.V., 2014, p. 7).

Naast het winnen van energie produceert Twence ook grondstoffen. De visie van Twence is een afvalloze maatschappij, waarbij het terugwinnen van grondstoffen uit afval een grote rol speelt (Twence B.V., 2015). De afvalstromen die Twence scheidt en bewerkt bestaan uit bedrijfsafval, bouw- en sloopafval, gft-afval en grof huishoudelijk afval. Materialen zoals papier, kunststof en karton worden aan andere bedrijven geleverd voor verdere bewerking. Van puin, zand en hout maakt Twence opnieuw te gebruiken materialen. Naast de grondstoffen die direct uit afval gescheiden kunnen worden, zijn er ook nog grondstoffen te winnen uit het as dat overblijft na de verbranding van afval. Denk hierbij aan allerlei soorten metalen. Het as zelf kan in de wegenbouw gebruikt worden.

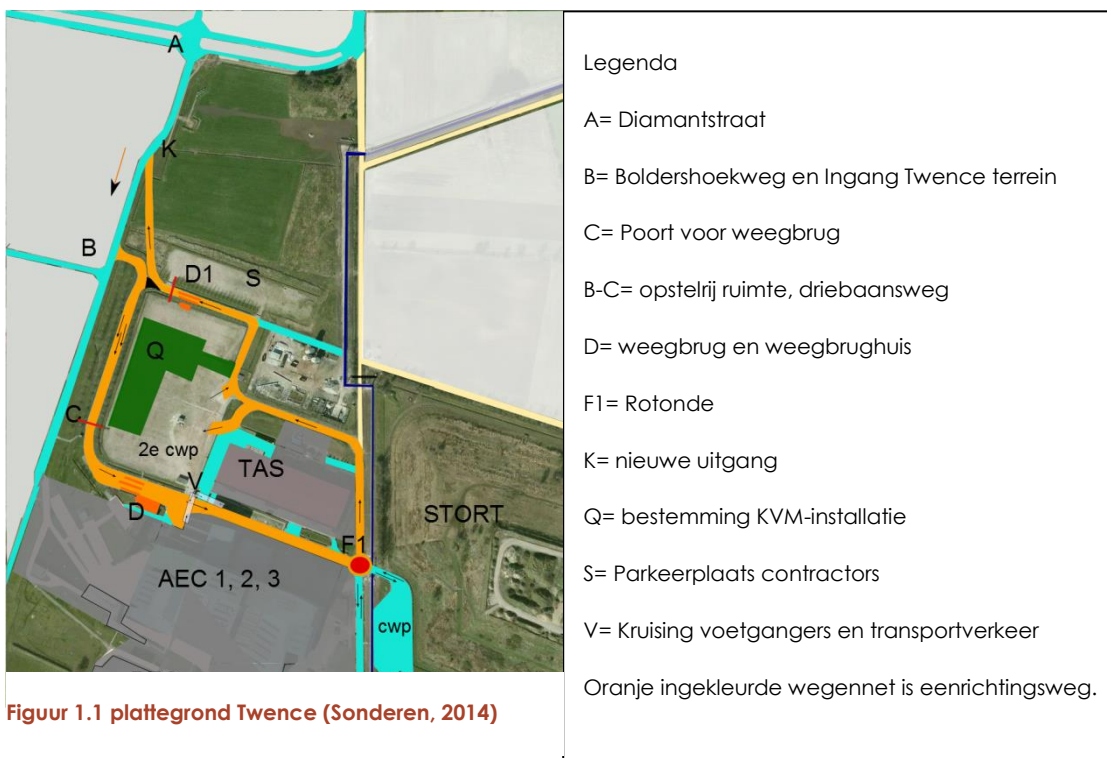
In 2014 heeft Twence ongeveer 949 kiloton aan afval verwerkt en een netto resultaat van €9,1 miljoen geboekt (Twence Holding B.V., 2014, p. 5). De netto-omzet van ongeveer €103,2 miljoen komt bij benadering voor de helft uit verkoop van energie, de andere helft bestaat uit de verkoop van grondstoffen en het verwerken van afval (Twence Holding B.V., 2014, p. 5). Deze cijfers reflecteren de verschuiving in het hoofdproces van Twence; van afvalverwerken naar energie- en grondstoffenproductie.

Om de recyclingrendementen verder omhoog te brengen en om meer verschillende soorten afvalstromen te kunnen verwerken is Twence een onderzoek gestart naar het bouwen van een nascheidingshal. Als gevolg van dit project zullen er de nodige veranderingen met betrekking tot de interne verkeersstromen plaatsvinden. Dit is voor Twence de reden om een onderzoek naar de interne logistiek en aanvoer te starten.

1.2 AANLEIDING

Zoals in de introductie is genoemd wil Twence een nascheidingshal bouwen. Door de bouw van de nascheidingshal zal de bestaande scheidingshal (TAS; op figuur 1.1) worden uitgebreid. De uitbreiding van de TAS heeft tot gevolg dat de weg die naast het gebouw ligt en vlak voor de weegbrug met de hoofdweg kruist, zie figuur 1.1, niet meer gebruikt kan worden, omdat de nieuwe nascheidingshal over de weg heen gebouwd moet worden (blauwe weg links van de TAS in figuur 1.1). Deze weg wordt op het moment gebruikt als de weg voor vrachtwagens die het terrein verlaten. Er zal dus een andere weg moeten komen om de vrachtwagens het terrein af te leiden.

Twence heeft het plan opgevat om de hoofdweg (de weg tussen D en F1 in figuur 1.1) te gebruiken als weg met tweerichtingsverkeer. Om inzicht te krijgen in de veranderde verkeerssituatie heeft Twence van 4 april 2015 tot 9 april 2015 een pilot gehouden waarbij op de hoofdverkeersader het verkeer uit twee richtingen kwam. Na de pilot is er geconcludeerd dat de verkeerswijziging geen directe risico's oplevert, maar dat er wel knelpunten zijn.



Figuur 1.1 plattegrond Twence (Sonderen, 2014)

Door de aangepaste verkeerssituatie zal de druk op het wegennet van Twence toenemen, daar komen de extra transporten voor de nascheiding nog bovenop. Naast de eerder genoemde pilot heeft Twence ook een onderzoek laten doen door consultancybureau Ergo Design. Het doel van het onderzoek van Ergo Design was een analyse te maken van de mogelijke verkeers- en logistieke knelpunten als gevolg van tweerichtingsverkeer op de hoofdweg. Ergo Design heeft het volgende geconcludeerd: "Door het huidige onbeheerste patroon van ingaande, uitgaande en interne transporten op de site in relatie tot de capaciteit van entiteiten en faciliteiten, wordt niet voldaan aan de logistieke doelstellingen van Twence" (Ergo Design, 2015). Naast deze conclusie heeft Ergo Design ook een oplossing aangedragen. Volgens Ergo Design is Twence erbij gebaat een parkeerplaats voor de ingang van het terrein te bouwen (zie ook figuur 5.11 in hoofdstuk 5.5, dit figuur wordt hierna principeschets genoemd)

Naar aanleiding van het rapport van Ergo Design heeft Twence besloten een onderzoek te starten naar de toeritdosering en interne logistieke bewegingen, met als doelen:

- Minimale doorlooptijd op de site;
- Geen stilstaand verkeer op de wegen op de site naar de entiteiten en faciliteiten;
- Voldoen aan de logistieke doelstellingen van Twence (zie tabel 1.1).

Tabel 1.1 Logistieke doelstellingen Twence

Verkoop van afvalverwerkingscapaciteit en verkoop van reststoffen resulterend in vollast van de entiteiten

Mogelijkheid om te kunnen leveren door leveranciers/klanten moet altijd kunnen doorgaan op werkdagen tussen 07.00 en 19.00 uur

Nul ongevallen per jaar, geen aanrijdingen op ons terrein

Geen vrachtwagens die op de openbare weg staan te wachten

Maximale wachttijd voor chauffeurs voor de weegbrug bedraagt 10 min

De verblijfstijd van de kraakwagens op het terrein bedraagt max 20 minuten

Op een bedrijfseconomische manier de logistieke doelstellingen bereiken

Aan de hand van de conclusies van Ergo Design heeft Twence de volgende vragen gesteld:

- o Wat is de capaciteit van het terrein in termen van het aantal voertuigen die er per tijdseenheid geholpen kunnen worden?
- o Wat is de capaciteit van de verschillende entiteiten in termen van het aantal voertuigen die er per tijdseenheid geholpen kunnen worden
- o Hoeveel extra voertuigen kunnen er terecht bij Twence?
- o Wat zijn de kosten van de wachtrijen?
- o Is het wenselijk de principeschets van Ergo Design toe te passen?

In het hierna volgende onderdeel zullen de huidige knelpunten betreffende de capaciteit en doorlooptijd in kaart gebracht worden.

1.3 PROBLEEMSTELLING

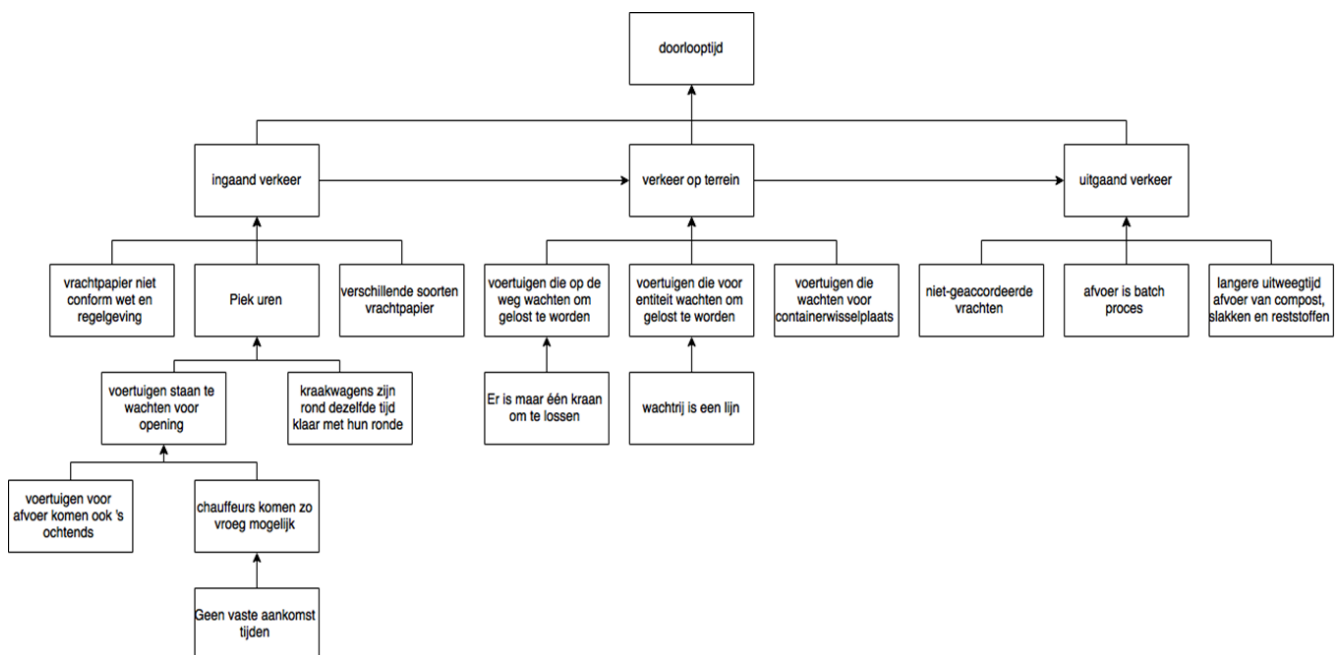
In dit gedeelte worden de problemen die de doorlooptijd vergroten in de huidige en toekomstige situatie, na het bouwen van de nascheidingshal, beschreven. In het eerste gedeelte zal de methode waarmee de problemen gevonden zijn worden behandeld en zullen deze aan de hand van een probleemkluwen worden gestructureerd. In het tweede gedeelte zullen de problemen verder uitgewerkt worden.

1.3.1 PROBLEEMKLUWEN

Om de gevonden problemen gestructureerd weer te geven zijn ze in een probleemkluwen (zie figuur 1.2) gezet. De probleemkluwen is een methode die helpt bij het inzichtelijk maken van problemen (Heerkens & Winden, 2012). Het grote voordeel van de probleemkluwen is dat oorzaak-gevolg relaties tussen problemen duidelijk worden en dat er één of meerdere kernproblemen zichtbaar worden. Deze kernproblemen liggen ten oorsprong van alle andere

problemen door deze op te lossen wordt het probleem bij de basis aangepakt (Heerkens & Winden, 2012).

De problemen die als invulling van de probleemkluwen zijn gebruikt zijn op twee manieren gevonden. Allereerst is er een inventaris gemaakt aan de hand van onderzoeken van Sonderen(2014) en Ergo Design(2015). Vervolgens zijn er semigestructureerd interviews met medewerkers van de afdelingen externe logistiek, interne logistiek en de weegbrug gehouden. Tijdens de interviews is er gesproken over de huidige en toekomstige problemen, daarnaast zijn ook de eerder geïnterviewde problemen voorgelegd aan de andere medewerkers om zo de validiteit te controleren. Uit deze procedure is de volgende probleemkluwen ontstaan:



Figuur 1.2 Probleemkluwen

1.3.2 UITWERKING PROBLEEMKLUWEN

Het hoofdprobleem en uitgangspunt van dit onderzoek is dat de doorlooptijd niet geoptimaliseerd is. Doorlooptijd is de totale tijdsduur die een voertuig op het terrein van Twence door brengt. Een voertuig wordt op het terrein van Twence beschouwt als het de externe weegbrug oprijdt, punt D in figuur 1.1, dit is tevens ook het eind van het terrein. Als de doorlooptijd niet beter beheerst wordt dan worden de volgende doelen niet gehaald (Ergo Design, 2015):

- Geen stilstaand verkeer op de wegen op de site naar de entiteiten en faciliteiten.
- Nul ongevallen per jaar, geen aanrijdingen op het terrein van Twence.
- Geen vrachtwagens die op de openbare weg staan te wachten.

De doorlooptijd wordt beïnvloed op drie punten (zie figuur 1.2): ingaand verkeer, verkeer op terrein en uitgaand verkeer. 'Ingaand verkeer' slaat op de aanvoer van vrachten en alle hierbij behorende activiteiten en processen, van het afsluiten van een contract tot het inwegen van het voertuig bij de weegbrug. Alles wat er na het inwegen gebeurt met betrekking tot de verkeerstromen naar de entiteiten en faciliteiten hoort bij 'verkeer op

terrein'. Bij 'uitgaand verkeer' hoort het uitwegen van de trucks en de afvoer van compost, reststoffen en slakken.

Niet alleen zorgt vertraging bij één van de drie punten tot een vergroting van de doorlooptijd, maar vertraging bij één van de punten werkt ook door naar de andere. Vertraging bij het verkeer dat het terrein op komt zorgt voor vertragingen bij de entiteiten en dat werkt ook weer door naar vertragingen bij de uitgaande weegbrug. Het doel is dat de verkeerstromen zo geregeld worden dat problemen door drukte en vertragingen aan de voorkant, dat is tot aan de ingaande weegbrug, worden opgevangen, zodat het verdere proces vloeiend verloopt.

INGAAND VERKEER

Bij ingaand verkeer zorgen drie factoren voor vertragingen, namelijk fouten in vrachtbrief, verschillende soorten vrachtbrieven en piekuren.

Vrachtbrief niet conform wet en regelgeving

Twence is volgens de wet verplicht de tonnages en de soort vracht nauwgezet bij te houden. Als de vrachtbrief van een chauffeur niet conform wet en regelgeving is dan mag de vrachtwagen het terrein niet op. Er is bij de weegbrug de mogelijkheid om één voertuig langs te zetten, zonder gevolgen voor de verkeersstroom. Voertuigen waarbij het vrachtpapier niet aan de wettelijke eisen voldoet, mogen pas het terrein op als de vervoerder een correct vrachtdocument aanlevert. Op het moment dat er een tweede voertuig op de weegbrug staat met een foutief vrachtdocument ontstaat er een probleem, omdat dit voertuig niet weggezet kan worden en dus de toestroom van voertuigen ophoudt.

Naast de vrachtbrieven die conform wet en regelgeving moeten zijn, moet de chauffeur van een voertuig ook in staat zijn om Nederlands, Engels of te Duits te spreken en verstaan. De reden is dat de chauffeur de aanwijzingen van het Twence personeel op het terrein kan begrijpen, zodat gevaarlijke situaties voorkomen kunnen worden. In de regel worden chauffeurs die de bovengenoemde talen niet machtig zijn niet direct weggestuurd, maar wordt er naar een oplossing gezocht, bijvoorbeeld door een andere chauffeur te zoeken die als tolk kan optreden. Taalproblemen kunnen voor dezelfde oponthoud zorgen als bij de vrachtpapieren

Verskillende soorten vrachtdocumenten

De problemen met fouten in de vrachtbrief houden verband met de situatie dat er meerdere soorten vrachtpapier gebruikt worden. Inwegen kan worden gedaan met een pasje, vrachtbrief met barcode en vrachtbrief zonder barcode. De pasjes zijn voor de vaste klanten van Twence, zoals Twente milieu. De vrachtwagens met pasje kunnen zichzelf inwegen en hoeven niet naar het loket van de weegbrug te gaan. Hetzelfde geldt voor vrachtbrieven met barcode. Deze zijn namelijk van Twence afkomstig. Het kan ook voorkomen dat transportbedrijven hun eigen vrachtbrieven gebruiken, deze hebben geen barcode van Twence en de brieven moeten bij de controlekamer gecontroleerd worden. Deze procedure duurt langer en houdt de stroom op. Het is echter wel de vraag in hoeverre de doorlooptijd zal verbeteren als elk voertuig zichzelf zou kunnen inwegen. Er bestaat namelijk de mogelijkheid dat wanneer de doorstroom van de weegbrug versnelt er later op het terrein problemen ontstaan door grotere wachtrijen.

Piekuren

De laatste oorzaak van vertraging zijn de piekuren. Er zijn drie piekuren van 7:00 uur tot 8:00 uur, van 10.00 uur tot 11.00 uur en van 14.00 uur tot 15.00 uur (Ergo Design, 2015). De vrachtwagens die tijdens de laatste twee piekuren komen zijn voornamelijk vuilniswagens die vol zitten. Doordat de vuilniswagens zichzelf in kunnen checken is er op deze momenten geen sprake van een langere doorlooptijd bij de weegbrug (Ergo Design, 2015). Het eerste piek uur wordt voornamelijk veroorzaakt doordat er bij opening van het terrein om 7:00 uur al vrachtwagens staan te wachten. Dat er al voertuigen zijn voor opening komt doordat de chauffeurs graag zo vroeg mogelijk komen en ze geen vaste aankomst tijden hebben. Daarnaast wordt de afvoer van compost, reststoffen en slakken ook 's ochtends gepland en de voertuigen hiervoor staan ook vanaf 7:00 uur voor de weegbrug.

VERKEER OP HET TERREIN

Onder 'verkeer op het terrein' vallen verkeersveiligheid, doorstroming en de Afval Energie Centrale.

Verkeersveiligheid

Het onderzoek van Ergo Design (2015) en de pilot hebben uitgewezen dat de voorgenomen verandering van de hoofdweg in een weg met tweerichtingsverkeer geen gevaarlijke situaties tot gevolg zal hebben. Naast vrachtverkeer is er ook intern verkeer dat bestaat uit voertuigen, fietsers en voetgangers waar rekening mee gehouden moet worden.

Doorstroming

De problemen die de doorlooptijd vergroten hebben allemaal te maken met opstoppingen voor verschillende entiteiten en faciliteiten. In de huidige situatie zijn dit voornamelijk de Afval Energie Centrale (AEC) en de containerwisselplaats (CWP).

Afval Energie Centrale

Opstoppingen bij de AEC hebben twee oorzaken. De eerste is omdat het afval een juiste mix van laag en hoog calorisch afval moet hebben om een zo efficiënt mogelijk verbrandingsproces te waarborgen, hierdoor moeten voertuigen soms wachten voordat ze gelost kunnen worden. De wachtende voertuigen staan op de oprit naar de AEC. Bijkomend probleem is dat doordat de wachtrij voor de stortvloer één lange lijn is, het voorkomt dat voertuigen met afval dat wel gelost kan worden moeten wachten op afval dat niet gelost kan worden.

De tweede oorzaak is dat er maar één kraan is om gebaald afval (dit is afval uit Engeland) te lossen. De voertuigen die met de kraan worden gelost hebben hun eigen wachtrij op de linkerbaan van de hoofdweg. Deze oplossing is in de nieuwe situatie niet meer mogelijk, omdat deze rijbaan dan bestemd is voor uitrijdend verkeer. Daarnaast zorgt deze oplossing in de huidige situatie ook voor een vertraging van doorstroming op de weg, doordat bestuurders geneigd zijn langzamer te rijden als er geparkeerde voertuigen langs de weg staan en doordat deze voertuigen in moeten voegen in het verkeer wanneer ze naar de AEC mogen rijden.

Container Wisselplaats

De opstoppingen bij de containerwisselplaats komen voornamelijk door een gebrek aan capaciteit en opstelplaatsen. Deze opstoppingen kunnen leiden tot gevaarlijke situaties en opstoppingen op de weg.

UITGAAND VERKEER

Vertragingen bij het uitgaande verkeer worden veroorzaakt door niet-geaccordeerde vrachten en door de afvoer van compost, reststoffen en slakken. Vrachten dienen geaccordeerd te worden door medewerkers bij de entiteiten, dit gebeurt niet altijd en moet dan bij de uitgaande weegbrug opgevangen worden, anders kan er niet uitgewogen worden.

De afvoerstromen zorgen voor langere tijden doordat ze zorgvuldig uitgewogen moeten worden, wat langer duurt dan het uitwegen van inkomende vrachten. Het kan voorkomen dat de afvoer in batches van meerdere voertuigen gebeurt, bijvoorbeeld wanneer het afgevoerde product op een schip geladen moet worden. Volgens de wet moeten de voertuigen allemaal één voor één uitgewogen worden, hierdoor wordt de wachttijd bij de uitgaande weegbrug vergroot.

1.3.3 UITWERKING THEMA'S

Interne integratie beslaat de mate waarin een organisatie zijn eigen strategieën, afdelingen en processen door middel van samenwerking en synchronisatie op elkaar af stemt om aan de behoefte van de klant te voldoen (Flynn et al., 2010). Bij Twence is er beperkte interne integratie. Een voorbeeld is dat de logistieke doelstellingen die als randvoorwaarde voor dit onderzoek gelden nauwelijks bekend zijn bij de medewerkers van Twence. Ook komen de doelstellingen niet voort uit een logistieke strategie of overleg tussen afdelingen, elke afdeling heeft zijn eigen strategie en doelstellingen. Er wordt wel twee keer per week overlegd tussen medewerkers van interne logistiek en externe logistiek, maar dit is voornamelijk voor een korte termijnplanning en alleen op operationeel niveau. De logistiek wordt niet op strategisch niveau behandeld.

Kortom de afwezigheid van een formele supply chain strategie heeft als gevolg dat er geen optimale interne integratie is bij Twence. Zonder een goede interne integratie zal externe integratie tot suboptimale resultaten leiden en beide hebben weer invloed op de variabiliteit van aankomsten.

Variabiliteit van aankomsten is hoeveel het aantal aankomsten gemeten op een bepaald uur van de dag afwijkt van het gemiddelde aantal aankomsten op datzelfde uur gemeten over alle dagen. De reden dat de variabiliteit van aankomsten per uur is gedefinieerd is dat er grote verschillen zijn in aankomsten per uur. Bijvoorbeeld de huifwagens met gebaald afval die voornamelijk tussen 7:00 uur en 8:00 uur aankomen. De in sectie 1.3.2 genoemde problemen bij 'ingaaand verkeer' zorgen voor grote variabiliteit in de aankomsten. Deze variabiliteit werkt door naar alle volgende processen. Doordat het proces van aankomsten niet beheerst is moeten problemen intern opgelost worden. Dit is voornamelijk zichtbaar tijdens piekuren. Tijdens piekuren komt een groter aantal vrachtwagens binnen dan dat de entiteiten aankunnen en ontstaan er opstoppingen. De opstoppingen staan voornamelijk bij de ingang van de AEC, bij de weegbrug (deze is soms zo groot dat er vrachtwagens op de openbare weg moeten wachten) en bij de containerwisselplaats. Dus de variabiliteit die aan

het begin van het proces ontstaat werkt door naar de overige processen en wordt daar versterkt.

Onderzoek van Srinivasa & Viswanadham(2001) zegt dat variabiliteit het beste zo dicht mogelijk bij de bron kan worden aangepakt. De variabiliteit ontstaat al bij de samenwerking met de leverancier. Dus de beste plek om een oplossing te zoeken is in verdere samenwerking of integratie met de leverancier. Een rapport van A.T. Kearney (Wood, 1997) ziet het nog breder en stelt dat het grote probleem van veel organisaties is dat ze te veel naar hun eigen proces kijken en niet samen met hun leveranciers en klanten proberen de supply chain te optimaliseren. Problemen in of een inefficiënte supply chain leidt volgens Boyer et al.(2004) zelfs tot een daling van aandeelhouderswaarde van gemiddeld tien procent. Volgens Hult et al. (2008) is de mate waarin organisaties in een supply chain met elkaar geïntegreerd zijn met als doel het optimaliseren van de totale keten een strategische kunde. Naast externe integratie is interne integratie een belangrijke pijler van bedrijfsresultaten (Flynn, Huo, & Zhao, 2010; Hult et al., 2008) en een voorwaarde voor externe integratie (Flynn et al., 2010; Lee, Kwon, & Severance, 2007).

1.4 ONDERZOEKSVRAGEN

Het doel van dit onderzoek is om Twence inzicht te bieden in de capaciteit gemeten in het aantal aankomsten dat behandeld kan worden zonder dat de doorlooptijd per voertuig sterk toeneemt in de huidige en toekomstige situatie op het terrein. Door het hierbij het proces als geheel te beschouwen en door te kijken waar de interne en externe integratie verbeterd kan worden kan er een optimale strategie worden gevonden om de verkeersstromen te beheersen. Om dit doel te bereiken is de volgende hoofdvraag opgesteld:

HOE GROOT IS DE CAPACITEIT OP HET TERREIN VAN TWENCE, IS DIE TOEREIKEND VOOR DE TOEKOMST EN WELK EFFECT HEEFT DIE OP DE DOORLOOPTIJD?

De hoofdvraag wordt beantwoord met behulp van de volgende sub vragen:

- Hoe ziet de huidige situatie bij Twence eruit?
- Wat is capaciteit en welk effect heeft die op de doorlooptijd?
- Wat is de capaciteit van Twence?
- Welke oorzaken zijn er voor een verminderde doorlooptijd?
- Hoeveel capaciteit is er in de toekomst nodig?
- Welke oplossingen zijn er voor het verbeteren van de doorlooptijd?

1.5 ONDERZOEKSSTRATEGIE

Om het onderzoek gestructureerd te laten verlopen is de volgende onderzoeksmethodiek opgesteld. De methodiek geeft het stappenplan van het onderzoek, welke informatie er nodig is om de verschillende sub vragen te beantwoorden, waar die informatie gevonden kan worden en welke methodieken voor analyse gebruikt worden.

1. Allereerst zal er een overzicht gemaakt worden van het terrein, zodat het duidelijk is welke informatie beschikbaar is en welke nog verkregen moet worden (Hoofdstuk 2);
2. De tweede stap is het uitwerken van de termen capaciteit en doorlooptijd en het verband tussen de twee, met behulp van wetenschappelijke literatuur. Op deze manier wordt er een goede theoretische basis gelegd (Hoofdstuk 3);

3. Volgende stap is het maken van een simulatie van het terrein van Twence. Een simulatie zal helpen met het vinden van de verbeterpunten op het terrein. Om een simulatie te kunnen uitvoeren zal er eerst een model van het terrein gemaakt moeten worden. De data voor de simulatie wordt verkregen uit SAP en waar nodig aangevuld met observaties en resultaten uit eerder onderzoek. Het model zal voor validatie aan medewerkers van verschillende afdelingen worden voorgelegd en aan de hand van de feedback worden aangepast (Hoofdstuk 4 en Hoofdstuk 5)
4. Samen met de begeleiders en opdrachtgever Twence wordt er een lijst van randvoorwaarden en beoogde resultaten opgesteld, waaraan een mogelijke oplossing moet voldoen (Hoofdstuk 5)
5. Vervolgens zal de simulatie uitgevoerd worden. De verkregen informatie zal worden gebruikt als input voor het vinden van verbeterpunten en voor het vinden van de capaciteit van terrein (Hoofdstuk 6)
6. Aan de hand van de in de derde stap gevonden resultaten kan er een set oplossingen bedacht worden en deze zullen ook gesimuleerd en beoordeeld worden (Hoofdstuk 7).

HOOFDSTUK 2 OVERZICHT TERREIN, AANKOMSTEN EN PROCES VAN TWENCE

Het terrein van Twence bestaat uit een groot aantal zogenaamde entiteiten, faciliteiten en wegen die alles met elkaar verbinden. Doordat alle entiteiten en faciliteiten op het gebied van lay-out, proces en bijbehorende capaciteit van elkaar verschillen en daardoor de totale doorlooptijd beïnvloeden is het wenselijk om bekend te zijn met de lay-out van het terrein, de werking van de verschillende entiteiten en faciliteiten, welke wegen er zijn en hoe het algemene proces verloopt van het moment dat een voertuig de externe weegbrug oprijdt tot het moment dat hetzelfde voertuig het terrein verlaat. Hiertoe dient dit hoofdstuk.

Allereerst zal in paragraaf 2.1 aan de hand van een plattegrond de lay-out van het terrein beschreven worden en zullen de entiteiten en faciliteiten die binnen het kader van dit onderzoek vallen kort geïntroduceerd worden. Ook zullen de routes die de voertuigen moeten rijden om bij hun bestemming te komen en de wegen waarover de routes gaan behandeld worden. In paragraaf 2.2 zal een overzicht van de verschillende soorten voertuigen die normaliter bij Twence rondrijden beschreven worden. Daarna zal paragraaf 2.3 een toelichting bevatten over het proces dat een voertuig doorloopt. Deze beschrijving zal in het algemeen gelden voor alle voertuigen en alle entiteiten. Als laatste bevat paragraaf 2.4 een korte samenvatting van de belangrijkste punten van dit hoofdstuk.

Een verdere uitwerking over hoe de verschillende entiteiten, faciliteiten, wegen en voertuigen de doorlooptijd bij Twence beïnvloeden is te vinden in hoofdstuk 4. Dit hoofdstuk is vooral bedoeld als overzicht.

2.1 HET TERREIN

In figuur 2.1 is de lay-out van het terrein gegeven. Hierop kunnen de entiteiten (die met een cijfer zijn aangegeven) en de faciliteiten (met een letter aangegeven), op worden teruggevonden. Alleen de faciliteiten die binnen de scope van dit onderzoek vallen zijn aangegeven. Ook is de Kruising bij de CWP meegenomen, aangegeven met D in figuur 2.1. Dit is een belangrijk punt in het wegennetwerk bij Twence, want alle voertuigen moeten dit punt namelijk minimaal één keer passeren. Hierdoor is de capaciteit van de kruising een bepalende factor voor de minimale doorlooptijd.

2.1.1 DE ENTITEITEN

In totaal zijn er negen verschillende entiteiten die binnen de scope van dit onderzoek vallen, deze zijn in figuur 2.1 met cijfers aangegeven. De entiteiten zijn plekken waar afval wordt gestort om te verwerken of op te slaan. In de secties hieronder zal elke entiteit apart beschreven worden.

Afval Energie Centrale

De Afval Energie Centrale (AEC) is zowel in het aantal aankomsten als het aantal ton gestort afval de belangrijkste entiteit van Twence. Tussen 2 januari 2014 en 25 mei 2015 bedroeg het aandeel van het aantal aankomsten voor de AEC 49% van alle aankomsten en het aandeel van het aantal ton gestort afval bedroeg 44%.

De AEC bestaat uit drie verschillende verbrandingslijnen, waarvan lijn 1 en 2 gebruikt worden voor afval met een lagere calorische waarde en lijn 3 wordt gebruikt voor afval met een hogere calorische waarde. Dit betekent dat lijn 1 en 2 (ook wel Afval Verbrandingsinstallatie of AVI genoemd) voornamelijk wordt gebruikt voor de stort van huishoudelijk afval en dat lijn 3 (ook wel Verbrandingslijn 3 of VL3 genoemd) wordt gebruikt voor bedrijfsafval.



Figuur 2.1 Terrein Twence

Op het moment dat een voertuig de AEC binnen gaat, komt het eerst langs de controle kamer. Hier wordt de vrachtbrief gecontroleerd en het voertuig doorgestuurd naar één van de stortpunten. De AEC beschikt in totaal over negen verschillende stortpunten. Vier voor lijn 1 en 2, vier voor lijn 3 en één voor gebaald afval. De stortpunten zijn niet constant beschikbaar, zo zijn er voor lijn 1 en 2 doorgaans maar twee stortpunten open, dit heeft te maken met de hoeveelheid afval in de bunker en hoe snel dat verbrand kan worden. Het aantal voertuigen met gebaald afval dat tegelijk kan worden gelost is afhankelijk van het aantal kranen dat er aanwezig is, dat is er doorgaans één. Ook kunnen er binnen in de AEC een aantal voertuigen wachten. Eén voor lijn 1 en 2, één voor lijn 3 en één voor gebaald afval, alle overige voertuigen moeten op de oprit die van de weg naar de AEC loopt wachten. Tijdens de interviews met personeel van de AEC is gebleken dat er ongeveer vier voertuigen tegelijk op de oprit kunnen wachten. Voertuigen met gebaald afval worden doorgaans op de tweede baan van de hoofdweg (de weg tussen punt B en C op figuur 2.1) opgesteld, zodat deze niet het verkeer op de oprit ophouden.

Legenda	
1	AEC
2	BEC
3	C3B
4	COM
5	GFT
6	HOU
7	SOI
8	STO
9	TAS
10	GRO
A	Ingang Terrein
B	Externe Weegbrug
C	Kruising
D	CWP
E	WB5

Aanvoer naar de AEC bestaat uit externe aanvoer, aanvoer van de TAS en aanvoer van de Stort. Met externe aanvoer wordt afval bedoeld dat door externe transporteurs direct naar de AEC wordt gebracht, zonder dat het eerst op een andere plek wordt gestort. Afval van de TAS is afval dat eerst gescheiden moest worden en afval van de stort is afval dat eerst op één van de storthopen bij Twence is gestort en vandaar naar de AEC is gebracht. Deze laatste twee verkeerstromen vallen onder intern vervoer.

Biomassa Energie Centrale

In de Biomassa Energie Centrale (BEC), punt 2 in figuur 2.1, wordt voornamelijk hout verbrand om energie op te wekken en is met 20% na de AEC de entiteit met de meeste aankomsten.

De aanvoer voor de BEC bestaat uit externe aankomsten en interne aanvoer. 28% van alle interne ritten gaan naar de BEC. De interne aankomsten komen van de BEC zelf, de GFT en de Houtbank, waarvan ongeveer 70% van de Houtbank komt.

Het maximale aantal voertuigen dat tegelijk in de BEC kunnen storten is vier, dit getal is gegeven door medewerkers van de BEC. Net als bij de AEC moeten voertuigen zich eerst melden bij de controle kamer. Nadat alles in orde is mogen de voertuigen de BEC in. In de BEC wordt het afval op de vloer gestort, dit wordt door een medewerker in een shovel bij elkaar geveegd en vervolgens op de verbrandingslijn geplaatst. Doordat het afval op de vloer wordt gestort zal bij grote hoeveelheden het beschikbare vloeroppervlak waar de voertuigen op kunnen staan afnemen. Er kan dus een situatie ontstaan waarin de capaciteit afneemt na veel aankomsten. Doordat een berekening van de hoeveelheid vrije vloer van te veel variabelen afhangt, die buiten de scope van dit onderzoek vallen wordt aangenomen dat er ten alle tijden maximaal vier voertuigen tegelijk kunnen storten. Medewerkers van de BEC geven ook aan dat een situatie waarin minder voertuigen kunnen storten nauwelijks voorkomt. De weg die onder de BEC ligt in figuur 2.1 dient ook als wachtrij voor de BEC. Er liggen geen andere entiteiten aan deze weg waardoor de volledige weg gebruikt kan worden, hierdoor is het zeer onwaarschijnlijk is dat de wachtende voertuigen het overige verkeer ophouden.

Het hout dat er bij de BEC verbrand wordt mag niet in grote stukken gestort worden. De stukken hout die te groot zijn voor de BEC worden eerst naar de Houtbank gebracht waar ze worden versnipperd.

Slakken opslag

De Slakken Opslag (C3B), punt 3 in figuur 2.1, is een afval belt die wordt gebruikt voor de opslag van slakken en voor het storten van asbest. Over de gemeten periode ging 4% van alle aankomsten naar de C3B. Het grootste gedeelte van de aankomsten waren interne ritten, van de in totaal 8031 aankomsten bij de C3B waren 5315 interne ritten en 2596 was externe afvoer.

De C3B ligt helemaal onderaan het terrein en is het verst weg van de andere entiteiten. Daarnaast is er op de belt voldoende ruimte voor voertuigen die moeten storten. Door de karakteristieken van de C3B is het aannemelijk dat hier weinig wachtrijen ontstaan en mochten ze toch ontstaan dan hebben andere voertuigen hier geen last van. Sinds wachtrijen in de meeste productiesystemen de grootste veroorzaker van langere doorlooptijden zijn lijkt het aannemelijk dat er bij de C3B weinig winst te behalen valt.

Slakken worden door Twence verkocht als grondstof, ze worden voornamelijk in de wegenbouw gebruikt als ondergrond waar asfalt op wordt gestort. Er is geen constante vraag naar slakken, maar als er vraag is dan zijn er meerdere ritten nodig om hier aan te voldoen. In totaal waren in de periode van 2 januari 2014 tot 25 mei 2015 92 dagen waarop slakken werden afgevoerd met een mediaan van 18,5 ritten per dag dat er afgevoerd werd. Naast slakken wordt er bij deze entiteit ook asbest gestort, dit zal het terrein niet meer verlaten, en komt volgens medewerkers erg weinig voor.

Intern vervoer komt voor het grootste gedeelte van de SOI. Alle ritten die van andere entiteiten komen zijn een uitzondering want in principe worden er alleen slakken naar de C3B gebracht.

Compostering

Bij compostering (COM), zie punt 4 in figuur 2.1, wordt organisch afval omgezet in compost en methaan gas, dit laatste is een bijproduct van het composteringsproces. Al het afval dat door de COM wordt gebruikt komt binnen via de GFT en wordt zonder voertuigen naar de COM vervoerd. De COM heeft dus nauwelijks aankomsten, in totaal 212. Dat is ongeveer 0,1 procent van het totale aantal aankomsten en minder dan één voertuig per dag. De COM heeft dus een minimale invloed op de doorlooptijd van het verkeer en wordt verder niet meer behandeld tijdens dit onderzoek.

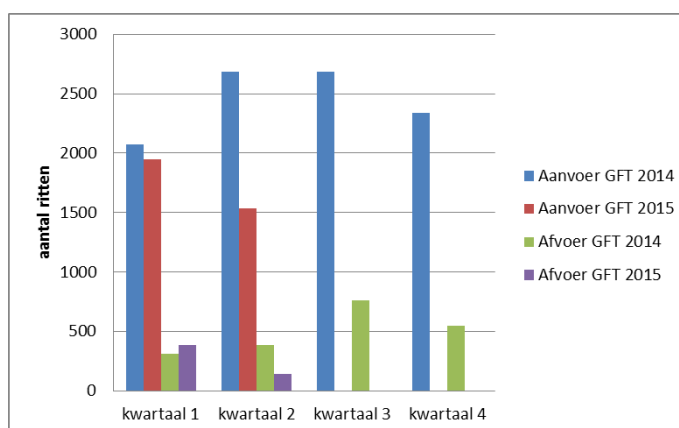
GFT

Twence biedt haar klanten ook de mogelijkheid om gft afval te storten, dit gebeurt bij de gelijknamige entiteit, punt 5 in figuur 2.1. Ongeveer 11 procent van alle ritten gaan naar de GFT. De ritten zijn uit te splitsen in 13 procent van alle externe aanvoer en 21 procent van alle externe afvoer. Er zijn in de gemeten periode geen interne ritten naar de GFT gegaan.

Binnen in de GFT zijn er vier losplaatsen één voor gft afval, twee voor vloeibaar organisch afval en één voor groen afval. Het gft afval is particulier afval en het groenafval is industrieel afval. In principe is er binnen ruimte voor vier voertuigen, maar net als bij de BEC neemt de ruimte af naarmate er meer afval gelost wordt dat niet gelijk verwerkt kan worden. Organisch afval moet eerst worden getest voordat het gelost mag worden, hierdoor is dit het proces dat het langst duurt bij de GFT. Dit is de enige entiteit waar regelmatig voertuigen met een tank als oplegger komen, ongeveer twee per dag.

Doordat er weinig ruimte binnenin de GFT is worden wachtende voertuigen langs de weg die boven de GFT loopt in figuur 2.1 opgesteld. Doordat deze weg ook gebruikt wordt door voertuigen naar en van de stort kunnen hier onveilige situaties ontstaan.

De voertuigstromen naar de GFT zijn seizoen afhankelijk, zowel de aanvoer als afvoer is voornamelijk in het eerste kwartaal minder dan in de rest van het jaar, zie figuur 2.2. De grootste afvoer stroom van de GFT is het compost van de COM. Compost wordt in batches afgenomen waarvoor meerdere ritten zijn, dus zorgt het voor een tijdelijke piek in aankomsten voor de GFT.



Figuur 2.2 Seizoensverdeling Aankomsten GFT

Houtbank

De Houtbank (HOU), punt 6 in figuur 2.1, is één van de kleinere entiteiten bij Twence als het gaat om het aantal aankomsten. Ongeveer 7 procent van alle ritten heeft de HOU als bestemming. Waar het gaat om oppervlakte is de HOU daarentegen weer één van de grootste. De HOU dient voornamelijk ook als opslag voor hout dat te groot is om naar de BEC te brengen of als de aanvoer naar de BEC te groot is. Hout dat te groot is wordt bij de HOU versnipperd. Het beleid van Twence is om de energie opwekkende entiteiten altijd draaiende te houden, tot 2015 bereikte Twence dit door altijd voldoende afval opgeslagen

te hebben. Vanaf 2015 is dit beleid veranderd en wil Twence de entiteiten draaiende houden door voldoende aankomsten te hebben.

Net als bij de C3B ontstaan er nagenoeg geen problemen bij de HOU als het gaat om lange wachtrijen en verblijftijden. De HOU is ook ver genoeg van de andere entiteiten af om geen overlast te veroorzaken. Daarom kan worden aangenomen dat de lengte van de wachtrijen nooit de capaciteit zal overstijgen.

Interne ritten van de HOU gaan allemaal naar de BEC, dit gebeurt wanneer er niet voldoende extern wordt geleverd aan de BEC. Alhoewel het versnipperde hout ook kan worden verkocht als grondstof, het wordt bijvoorbeeld als ondergrond van speeltuinen gebruikt, zijn de afvoer ritten van de HOU maar 3 procent van het totale aantal afvoer ritten. Interne ritten met als bestemming de HOU komen van de BEC en de TAS. Hout dat voor de BEC bestemd is maar te grof is wordt naar de HOU gestuurd en hout dat bij de TAS uit het afval wordt gescheiden gaat ook naar de HOU.

Slakken Opwerk Installatie

Het residu dat na verbranding overblijft wordt bij de Slakken Opwerk Installatie (SOI), punt 7 in figuur 2.1, gescheiden in slakken en metaal. De slakken zijn in feite het as dat na verbranding overblijft. Het metaal dat uit het residu wordt gescheiden wordt verzameld en als grondstof verkocht. De slakken worden nadat ze gescheiden zijn naar de C3B vervoerd voor opslag.

Doordat er bij de SOI geen afval gelost kan worden zijn er nauwelijks externe ritten naar de SOI toe (0,01%), sowieso ziet de SOI bijna geen ritten ongeveer 2 procent van alle ritten gaat naar de SOI. De overige ritten voor de SOI zijn ongeveer 50/50 verdeeld over externe afvoer en interne ritten. De interne ritten naar de SOI komen voornamelijk van de BEC, omdat de verbranding van de BEC in een apart gebouw gebeurt. De verbranding van de AEC zit in hetzelfde complex als de SOI en dus komen er bij het vervoer van de AEC naar de SOI geen voertuigen te pas. Ritten van de SOI gaan naar verbrandingslijn 1 en 2, C3B, de stort en de TAS.

Stort

De Stort (STO), punt 8 in figuur 2.1, is een vuilnisbelt, hier wordt afval dat tijdelijk of sowieso niet verwerkt kan worden gestort. Ongeveer 9 procent van alle ritten hebben de STO als bestemming. Bij vergelijking van de verdeling van de aankomsten van 2014 en 2015 over het soort ritten valt er op dat er een groot verschil is in de externe afvoer. Twence heeft als gevolg van een beleidsverandering geprobeerd om zo min mogelijk voorraad aan te leggen en dat is in 2015 gelukt gezien het feit dat er nauwelijks nog afval naar andere partijen moest worden afgevoerd, zie tabel 2.1.

Tabel 2.1 verdeling van aankomsten bij de Stort

Jaar	2014	2015
Externe Aanvoer	53.84%	55.10%
Externe Afvoer	25.34%	0.16%
Interne ritten	13.83%	44.63%

Het proces bij de STO verschilt niet veel van dat bij andere entiteiten. Voertuigen die bij de Stort aankomen moeten eerst gecontroleerd worden. Wanneer alles in orde is krijgen ze een plek om te storten aangewezen en rijden ze daar naartoe om vervolgens te lossen en weer naar de uitgang te rijden. Doordat er bij de STO meer dan genoeg ruimte is en er alleen veel aankomsten zijn als één van de andere entiteiten ongepland onbruikbaar is, en omdat de entiteit ver van de andere ligt, wordt er bij dit onderzoek vanuit gegaan dat de capaciteit

van de wachtrij altijd toereikend is. Andere verkeersstromen ondervinden dus geen last van voertuigen die voor de STO staan te wachten.

Het interne vervoer van en naar de STO is toegenomen in 2015 ten op zicht van 2014, 1978 om 1248. De interne ritten in 2015 zijn die van 2014 dus in mei al overstegen. Ritten naar de STO komen van de BEC, GFT, SOI en voornamelijk TAS. Van de STO gaan de ritten naar AEC en zijn ongeveer gelijk verdeeld over lijn 1 en 2 en VL3; een klein percentage gaat naar de TAS.

Twence Afval Scheiding

De TAS ook wel Twence Afval Scheiding, punt 9 in figuur 2.1, is de entiteit waar personeel van Twence verwacht dat de meeste groei in aankomsten plaats gaat vinden. In de huidige situatie is de TAS met ongeveer 8 procent van alle aankomsten de zesde entiteit. In de scheidingsinstallatie wordt afval dat niet bij de bron gescheiden is verwerkt. De materialen die uit de afvalstroom gehaald worden zijn hout, karton, papier, plastic en zeefzand. Karton, papier en plastic worden apart opgeslagen en als grondstof doorverkocht. Het zeefzand wordt opgeslagen en afgevoerd als er genoeg is verzameld. Het hout gaat naar HOU.

Net als de BEC en de GFT bestaat de TAS uit een overdekte stortvloer, waarbij de capaciteit en manoeuvre ruimte afneemt bij een bepaalde hoeveelheid gelost afval. Onder normale omstandigheden kunnen er maximaal drie voertuigen tegelijk lossen en de wachtrij kan maximaal drie voertuigen groot zijn voordat er voertuigen op de weg voor de TAS moeten wachten.

De aankomsten van de TAS zijn verdeeld over externe aan- en afvoer, interne ritten van de GFT, SOI, STO, TAS en VL3 en interne ritten naar de AEC, HOU, STO, TAS en VL3. Alles wat bij andere entiteiten aankomt maar nog niet goed gescheiden is gaat naar de TAS. De afvalstromen van de TAS de AEC, gaan voornamelijk naar VL3, het hout gaat naar de HOU en alles wat niet verbrand kan worden gaat naar de STO.

BND en GRO

De laatste twee entiteiten zijn de BND en de grond stort (GRO). De BND is geen fysieke entiteit en staat dus ook niet aangegeven in figuur 2.1, maar bestaat alleen in SAP om speciale aankomsten weg te schrijven. In totaal is er tussen 2 januari 2014 en 25 mei 2015 één rit naar de BND gegaan. Deze entiteit is niet interessant voor dit onderzoek.

De GRO bestaat wel, zie punt 10 in figuur 2.1, maar wordt nauwelijks nog gebruikt. Het totale aantal ritten naar de GRO in de gemeten periode was 772 dat is bij 365 werkdagen ongeveer 2 ritten per dag. De aankomsten naar de GRO zijn ongeveer 0,5 procent van alle ritten. De GRO ligt achter op het terrein en is dus erg afgelegen. De bijdrage aan de verkeersdruk van de GRO is dus gering en de GRO neemt geen sleutelpositie in op het terrein, daarom wordt de GRO in het verdere onderzoek niet meegenomen.

2.1.2 DE FACILITEITEN

De faciliteiten zijn plaatsen die het losproces ondersteunen. De faciliteiten die binnen de scope van dit onderzoek vallen zijn aangegeven met letters in figuur 2.1. De aangegeven faciliteiten worden hieronder uitgewerkt.

Punt C in figuur 2.1 is de kruising naast de Container wisselplaats. Omdat elk voertuig bij Twence (sommige interne ritten uitgezonderd) hier langs komt en omdat kruisingen een grote invloed hebben op de capaciteit van een weg, wordt deze kruising in dit stuk verder uitgewerkt.

Weegbrug

Op het terrein van Twence zijn vijf verschillende weegbruggen aanwezig. Twee weegbruggen voor inkomende voertuigen WB 1 en WB2; Twee weegbruggen voor uitgaand verkeer WB3 en WB4; en één interne weegbrug, zie B in figuur 2.1. WB1, 2, 3 en 4 zijn bij elkaar de Externe Weegbrug.

Naast het in- en uitwegen van voertuigen bestaat de taak van de weegbrug uit het controleren van de vrachtdocumenten, het bijhouden van de gegevens van de voertuigen die het terrein opkomen en het inchecken van de voertuigen in het computersysteem. Het is erg belangrijk dat deze taken conform wet en regelgeving worden uitgevoerd.

De meeste informatie over de voertuigen en afvalstromen zijn van tevoren al in het systeem gezet, deze zijn bekend bij het afsluiten van het contract met de klant. De afvalstromen moeten vervolgens bij de overheid worden aangemeld, die akkoord moeten geven.

Vrachtdocumenten

Het is o.a. belangrijk dat de emissie van uitlaatgassen van de voertuigen bekend is bij de overheid. Voor voertuigen uit Nederland bestaat een database waarin alle emissies per voertuig staan, maar voor voertuigen uit het buitenland bestaat zo'n database niet. Om toch de emissies bij te houden dient Twence de voertuigpapieren van buitenlandse voertuigen te controleren en de emissies te noteren. Vallen de emissies van het voertuigen buiten het wettelijk toegestane maximum dan mag het voertuig het terrein niet op. Naast de emissies dient afval dat geïmporteerd wordt via een EVOA aangemeld te worden bij de overheid (ILT, 2016). EVOA staat voor Europese Verordening Overbrenging Afvalstoffen. De EVOA bepaald aan welke eisen de leverancier en afnemer van het afval moeten voldoen.

EVOA wordt intern gebruikt bij Twence als aanduiding van een soort vrachtdocument. Er zijn drie andere type vrachtdocumenten in gebruik bij Twence, namelijk:

1. Pasjes. Voertuigen die veelvuldig met dezelfde afvalstroom bij Twence komen lossen kunnen een pasje gebruiken om zichzelf te kunnen in- en uitwegen, de pasjes worden voornamelijk gebruikt voor de voertuigen van Twente Milieu;
2. Vrachtdocument Twence. Deze documenten zijn door Twence opgestuurd naar de klant en zijn voorzien van barcodes, waarmee een chauffeur zichzelf kan in- en uitwegen op de weegbrug;
3. Vrachtdocumenten van de klant. Deze vrachtdocumenten zijn nog niet voorzien van barcodes, om deze te krijgen moet de chauffeur uit zijn voertuig stappen en naar het loket van de weegbrug lopen om daar de barcodes op te halen.

In tabel 2.2 is te zien hoe lang een voertuig met een bepaald vrachtdocument op de weegbrug staat. De gegevens in tabel 2.2 zijn door de weegbrug aangeleverd en via een intern onderzoek vastgesteld. Voor de weegbrug bestaat er geen verschil in tijd en in procedure tussen inwegen met pasje of met vrachtdocument van Twence, deze worden in de tabel samengevoegd onder de naam Twence; Klant is de groep van voertuigen met vrachtdocumenten van de klant zelf en EVOA zijn de voertuigen die van buiten Nederland

komen. EVOA documenten duren het langst doordat hiervoor de meeste handelingen bij de weegbrug genomen moeten worden, daarnaast moet de chauffeur uit zijn voertuig komen en naar het loket toelopen, waar de autopapieren gecontroleerd en goedgekeurd moeten worden voordat het voertuig kan inwegen.

Probleemafhandeling

Op het moment dat een voertuig zich op de weegbrug

bevindt kunnen er verschillende problemen ontstaan, bijvoorbeeld:

Tabel 2.2 Gemiddelde Weegtijd per type Vrachtdocument	
Vrachtdocument	Tijd in minuten
Twence	1,5
Klant	2,0
EVOA	2,5

- Chauffeur spreekt geen Nederlands, Duits of Engels;
- Er staan fouten in het vrachtdocument;
- Voertuig heeft pech;
- Andere redenen waardoor een voertuig niet verder kan rijden.

Over de tijd die het duurt om een probleem te verhelpen is bij Twence niets bekend, dus is er in samenspraak met het weegbrugpersoneel op een gemiddelde van tien minuten gekomen voor alle mogelijke problemen. Wanneer een voertuig door een probleem het terrein niet op kan of mag wordt hij naast de weegbrug (direct naast het loket) weggezet totdat het probleem is verholpen. Er is plaats voor één voertuig naast de Weegbrug, dus wanneer er meer dan één voertuig met een probleem zit moet het tweede voertuig op de Weegbrug wachten. Uit gesprekken met de Weegbrug medewerkers is duidelijk geworden dat er gemiddeld vijf probleemgevallen per dag zijn.

Onderhoud en Storingen Weegbrug

In principe ligt de Weegbrug niet plat door onderhoud of storingen. Het onderhoud aan de Weegbrug wordt buiten openingsuren gedaan en hier ondervindt de voertuigstroom dus geen last. In totaal waren er over 2015 11 storingen, waarbij twee storingen leidde tot de uitval van één van de Weegbruggen. In 2014 is het één keer voor gekomen dat één Weegbrug tijdelijk niet bruikbaar was. De kans op storing bij de Weegbrug is dus erg klein en zal geen onderdeel uitmaken van de analyses in dit onderzoek.

Uitwegen

Nadat een voertuig zijn route heeft afgelegd moet het nog worden uitgewogen. Uitwegen gebeurt bij WB 3 en WB 4, deze liggen naast de ingaande Weegbruggen. Over het algemeen duurt het uitwegen minder lang dan het inwegen, doordat een chauffeur dit zelf bij de Weegbrug kan doen.

Uitzonderingen zijn voertuigen voor afvoer, zoals bijvoorbeeld compost. Voor de afvoer van compost moeten bij het uitwegen de papieren in orde gemaakt worden, dat is bepaald door de wet en regelgeving. Ook moeten de papieren van elk voertuig apart behandeld worden.

De tweede uitzondering zijn voertuigen die niet geaccordeerd zijn bij de entiteit, hierover meer in paragraaf 2.3. Wanneer het voertuig is uitgewogen kan het doorrijden naar de uitgang van het terrein en is de route van het voertuig ten einde gekomen.

Interne Weegbrug

De interne Weegbrug, WB5 (punt E in figuur 2.1), is voor het wegen van interne vrachten. In de praktijk komt het voor dat externe voertuigen ook gebruik maken van de WB5, maar in dit onderzoek wordt aangenomen dat WB5 alleen voor interne ritten wordt gebruikt. De Interne Weegbrug heeft plaats voor één voertuig en op de wegen en CWP bij de weegbrug is beperkt plaats voor wachtende voertuigen.

Container Wisselplaats

De Container Wisselplaats (CWP), zie punt D in figuur 2.1, wordt door voertuigen met meerdere opleggers voor het wisselen en als tijdelijke opslag van opleggers gebruikt. Een voertuig komt drie verschillende keren bij de CWP.

1. Loskoppelen en achterlaten van één oplegger;
2. Wisselen van de opleggers;
3. Het weer aankoppelen van de losse oplegger.

Tussen de handelingen bij de CWP door gaat het voertuig naar een entiteit om te lossen. In dit rapport zal een voertuig met extra oplegger altijd allebei de oplegger lossen bij dezelfde entiteit.

De CWP bestaat uit 12 plekken van ongeveer 12 meter lang, wat in de praktijk neer komt op zes wisselplekken. Voertuigen gebruiken namelijk twee plekken voor het wisselen, ten eerste omdat het makkelijker is om de containers naast elkaar te wisselen, ten tweede kwam tijdens observaties bij de CWP naar voren dat de CWP in het midden hoger ligt dan aan de uiteinden, hierdoor is het wisselen van containers moeilijker en kan niet de gehele CWP gebruikt worden.

Bij de CWP is ook de op- en afnetplek voor voertuigen met open containers. Voertuigen met een open container mogen niet zonder net of zeil de openbare weg op. Twence heeft voor het op- en afnetten een metalen constructie naast de CWP gezet, waardoor de chauffeurs makkelijker en veiliger kunnen handelen. Uit observatie blijkt echter dat de chauffeurs het systeem niet gebruiken.

Over het aantal voertuigen dat gebruikt maakt van het op- en afnet systeem zijn geen cijfers bekend. Wel is er geobserveerd dat de het op- en afnetten ongeveer 2 minuten duurt. Door het gebrek aan informatie en de korte duur van het proces is er besloten het op- en afnetten niet mee te nemen in dit onderzoek.

2.1.3 DE WEGEN

Doordat de wegen op het terrein een belangrijke rol spelen in de capaciteit is het goed om een beeld te hebben bij de ligging en lay-out van de verschillende wegen. De wegen bepalen de capaciteit en doorlooptijd van het terrein op twee manieren. Als eerst hebben de wegen een rol als distributie mechanisme, de tijd tussen aankomsten bij de verschillende entiteiten hangt af van het gedrag van de voertuigen op de weg. De tweede is de capaciteit van de weg, wanneer deze niet toereikend is gaat het verkeer steeds langzamer rijden en kunnen er zelfs files ontstaan.

Voor dit onderzoek is het wegennetwerk bij Twence in drie stukken verdeeld: De weg van de Weegbrug naar de Kruising genaamd de 'Hoofdas', de Kruising en de overige wegen. Deze

verdeling is gemaakt op de verwachte impact op de capaciteit en doorlooptijd van de verschillende weggedelen. De verantwoording voor de gekozen verdeling en de karakteristieken van de wegen staan in de stukjes hieronder.

Hoofdas

De Hoofdas is het drukste stuk weg op het terrein en is de weg tussen punten B en C in figuur 2.1, zie ook de blauwe lijn in figuur 2.3.

Alle voertuigen voor externe ritten komen over de 'Hoofdas', dit betekent dat er gemiddeld 323 voertuigen per dag overheen rijden. Bij het gemiddelde aantal voertuigen zijn dan nog niet de interne ritten en extra ritten van voertuigen met extra opleggers meegerekend.

De weg bestaat uit twee banen, waarvan de eerste 125 meter eenrichtingsverkeer is en de overige 125 meter komt het verkeer van beide kanten. Wanneer twee voertuigen tegelijk van de Weegbrug afkomen en de één naar 15 km/uur versneld en de ander naar 20 km/uur, dan heeft het snellere voertuig ongeveer 100 meter nodig om het langzamere in te halen.

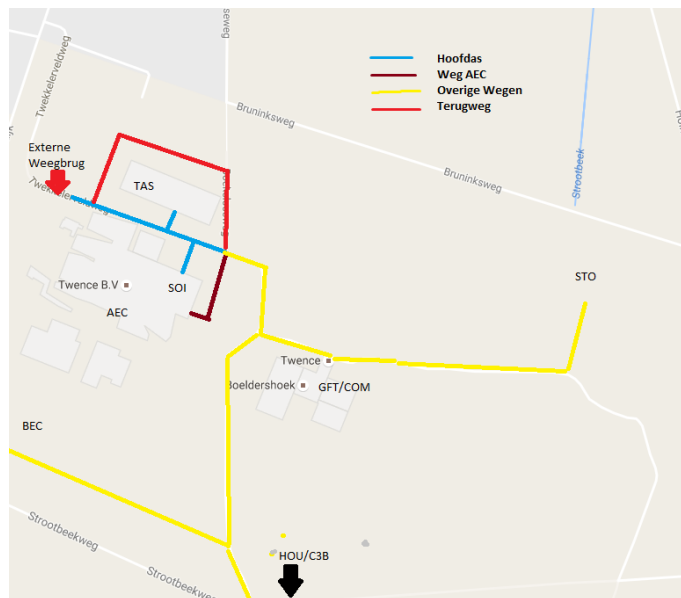
Er is dus 25 meter speling voor voertuigen die gemiddeld 12 meter lang zijn, daarnaast moet een van de voertuigen de snelheidslimiet van 15 km/uur overschrijden. De bovenstaande situatie dient als redenatie voor de aanname dat voertuigen elkaar nauwelijks inhalen op de Hoofdas en dat die dus gemodelleerd kan worden als een éénbaansweg.

Er zijn drie punten op de Hoofdas waar de voertuigen kunnen afslaan, de afslag naar de TAS, de afslag naar SOI en de Kruising. De afslagen naar de SOI en TAS staan haaks op de weg en uit observatie blijkt dat voertuigen voor deze afslagen moeten afremmen, voor dit onderzoek wordt aangenomen naar 10 km/uur. Doordat de voertuigen moeten afremmen neemt de capaciteit van de weg af en de doorlooptijd toe.

Overige wegen

De overige wegen is een verzamel naam voor alle wegen die geen deel uitmaken van de Hoofdas en liggen allemaal na de Kruising, zie de gele en rode lijnen in figuur 2.3. De overige wegen zijn allemaal tweebaanswegen met tegemoet rijden verkeer op de tweede baan, met uitzondering van de terugweg, die is éénbaans. De bochten bij de kruisingen zijn flauw genoeg om met 15 km/uur doorheen te rijden voor vrachtwagens. Ook liggen de verschillende entiteiten aan deze wegen relatief ver uit elkaar. Dus het is niet aannemelijk dat de capaciteit van deze wegen niet toereikend zal zijn.

De wegen kennen twee snelheidslimieten, op het grootste gedeelte van de weg geldt een limiet van 15 km/uur. De twee uitzonderingen zijn de weg voor de BEC langs en de terugweg achter de TAS langs, beide wegen hebben een snelheidslimiet van 30 km/uur. De



Figuur 2.3 Plattegrond Wegen Twence

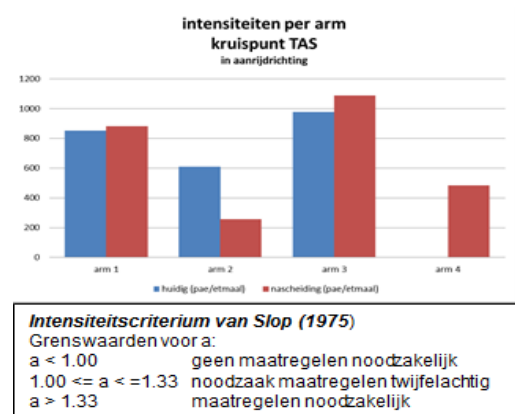
snelheidslimieten staan met verkeersborden aangegeven. Op deze wegen net als alle andere wegen bij Twence gelden dezelfde verkeersregels als op de openbare weg.

Kruising

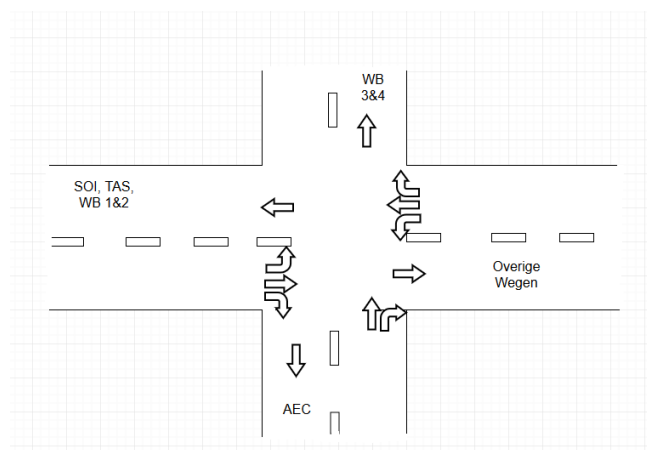
Met de Kruising wordt de splitsing van wegen tussen de Hoofdas, de oprit van de AEC, de Terugweg en de overige wegen bedoeld, deze staat met C aangegeven in figuur 2.1 en is het punt waar de gekleurde lijnen samen komen in figuur 2.3. Volgens Ergo Design is de Kruising het zwakke punt qua capaciteit in het wegennetwerk van Twence.

Ergo Design komt op basis van het intensiteitscriterium van Slop (1975), zie ook figuur 2.4, tot de conclusie dat er in de huidige situatie geen maatregelen nodig zijn. De uitkomst van Ergo Design is dat de grenswaarde a in de huidige situatie gelijk is aan 0,76. Nadeel van de methode van Slop is dat het niks zegt over de precieze capaciteit.

De Kruising wordt niet gereguleerd door verkeerslichten of voorrangsborden, wat betekent dat verkeer van rechts voorrang heeft. In figuur 2.5 staan alle richtingen waarin het verkeer stroomt. Bij figuur 2.5 dient opgemerkt te worden dat verkeer van de AEC naar links af kan slaan maar dat dit in de praktijk niet voorkomt, dus staat er geen pijl. Er zijn twee stromen die ten alle tijden ongehinderd door kunnen rijden dit zijn de stromen van WB 1&2 naar de Overige Wegen en van de Overige Wegen richting WB 1&2. Vertraging ontstaat wanneer een voertuig voorrang moet verlenen aan een ander voertuig, deze vertraging werkt door naar de voertuigen achter het eerste voertuig. Dus de vertraging bij de Kruising hangt af van de kans dat een voertuig bij een arm moet wachten op een ander voertuig en de hoeveelheid voertuigen die daar weer op moeten wachten. In hoofdstuk 3 wordt een methode beschreven waarmee de capaciteit en vertraging van een kruising berekend kan worden.



Figuur 2.4 Capaciteits Analyse Kruising van Ergo Design



Figuur 2.5 Verkeestromen Kruising

Twence verzamelt geen informatie over de verkeerstromen bij de Kruising. Cijfers over de intensiteit per arm van de Kruising moeten uit de simulatie komen.

2.2 DE VOERTUIGEN

Een belangrijke variabele op het terrein zijn de verschillende typen voertuigen en opleggers die verwerkt worden bij de entiteiten. De twee soorten voertuigen waar Twence mee te maken heeft zijn verschillende typen kraakperswagens en vrachtwagens met verschillende soorten opleggers. SAP maakt onderscheid tussen 21 verschillende type voertuigen. In tabel

2.3 is het gemiddelde aantal aankomsten per dag te zien van alle voertuigtypen en uit deze tabel valt al op te maken dat er voertuigtypen zijn die nauwelijks aankomsten hebben op een gemiddelde dag. Wordt er gekeken naar het gemiddelde aantal aankomsten per dag per entiteit dan wordt voor sommige typen voertuigen het aantal nog minder. In dit onderzoek zullen dan ook niet alle typen voertuigen die in SAP staan worden meegenomen. Sommige typen zullen worden weggelaten en andere typen die erg op elkaar lijken worden samengevoegd tot één type voertuig.

Voertuigen dienen ten minste gemiddeld per dag één aankomst bij twee of meer entiteiten te hebben om meegenomen te worden, dit is om ervoor te zorgen dat de analyse niet te groot wordt. Daarnaast wordt de simulatie o.a. gebruikt voor het vinden van doorzettijden en verkeersstromen in de huidige situatie, wanneer er uitzonderingen worden meegenomen in deze analyse ontstaat er een vertekend beeld van de huidige situatie. Mocht blijken dat sommige voertuigen toch een impact hebben op de prestaties dan kunnen die altijd nog aan een experiment worden toegevoegd. In hoofdstuk 4 wordt de gebruikte groep van voertuigen verder uitgewerkt.

De rest van dit hoofdstuk houdt zich bezig met een kort overzicht van de belangrijkste type voertuigen en de belangrijkste parameters van deze voertuigen. Voor het bepalen van de capaciteit en doorlooptijd spelen twee parameters een rol. De eerste is de lengte van het voertuig plus eventuele oplegger. De lengte is o.a. bepalend voor het aantal voertuigen dat er in een wachtrij kan staan, zoals voor de inkomende weegbrug, en het totaal aantal voertuigen dat zich tegelijk op de weg kan bevinden. De lengte is ook één van de dimensies die de inhoud van de oplegger bepalen, wat weer één van de belangrijkste factoren is in de lostijd. De lostijd is de tweede bepalende factor van de capaciteit en de doorlooptijd. Hoe langer de lostijd, des te langer wordt de doorlooptijd en des te minder voertuigen kunnen er per uur lossen bij een entiteit. De waarde van de parameters lengte en lostijd per voertuigtype worden in hoofdstuk 4 verder behandeld. Hieronder volgt een kort overzicht van de verschillende type voertuigen.

Tabel 2.3 Gemiddelde Externe Aankomsten per Entiteit op een Dag							
Type Voertuig/Entiteit	AVI	BEC	GFT	HOU	STO	TAS	VL3
Bestelwagen	0	0	0	0	0	1	0
Containerwagen Laadvloer	0	0	0	0	0	0	0
Containerwagen open container (10-50 m3)	36	10	9	17	13	21	27
Containerwagen open portaalcontainer (ca 5 m3)	0	0	0	1	1	4	1
Containerwagen Perscontainer	0	0	0	0	0	0	0
Kiepwagen vaste bak	1	0	1	0	1	0	0
Kiepwagen vaste bak + kraan	0	0	0	0	0	0	0
Kraakperswagen Otto's (H.A.)	13	0	6	0	1	0	2
Kraakperswagen Rolcontainer (B.A.)	3	0	1	0	2	0	4
Kraakperswagen verlengd (B.A.)	1	0	0	0	0	0	1
Kraakperswagen verlengd (H.A.)	12	0	5	0	0	0	1
Personenwagen	0	0	0	0	0	0	0
Tankwagen vaste tank (tot ca 18 m3)	0	0	0	0	0	0	0
Tractor	0	0	0	0	0	0	0
Vrachtwagen met oplegger Bulkwagen	0	0	0	0	0	0	0
Vrachtwagen met oplegger Huif	10	0	0	0	0	0	13
Vrachtwagen met oplegger Kieptrailer	7	0	0	0	1	1	4
Vrachtwagen met oplegger Tankwagen (ca 30 m)	0	0	1	0	0	0	0
Vrachtwagen met oplegger Walking Floor	1	9	4	0	2	0	5

2.2.1 VRACHTWAGEN MET OPEN CONTAINER (10-50m³)

Zoals in tabel 2.3 te zien is vormt dit type voertuig de groep met gemiddeld de meeste aankomsten per dag. Dat het aantal aankomsten van deze groep zo groot is heeft te maken met de grote speling die er is in de inhoud van dit voertuig type. Het punt waar dit type voertuig zich onderscheid van de andere type voertuigen is dat de oplegger aan de bovenkant open is, deze opleggers mogen alleen afgedekt de openbare weg op. Bij veel voertuigen kan dit zeil automatisch worden op- en afgenet. Voor de voertuigen waarbij het op- en afnetten handmatig gebeurt heeft Twence en op- en afnet plaats bij de CWP. Dit type voertuig is ook de enige die met meerder opleggers aan kan komen.

2.2.2 KRAAKPERSWAGENS

Uit tabel 2.3 kan worden afgelezen dat er veel verschillende soorten kraakperswagens zijn, deze zijn met groen aangegeven. De verschillen tussen de kraakperswagens komen door verschil in inhoud en hoe het laden en los systeem van de kraakperswagen werkt. Bij elkaar genomen vormen de kraakperswagens de tweede groep als het gaat om aankomsten na de opencontainers. De kraakwagens komen voornamelijk van Twente Milieu. De kraakwagens komen naar Twence zodra deze zijn route heeft afgereden of vol is, dit is voor de meeste wagens tussen 10:00 uur en 12:00 uur en tussen 14:00 uur en 15:00 uur, hierdoor zorgen de kraakperswagens voor de pieken in aankomsten die op deze tijdstippen plaats vinden.

2.2.3 VOERTUIGEN MET OPLEGGER HUIFCONTAINER

Dit type voertuig zorgt vooral voor het vervoer van gebaald afval dat uit Engeland komt. Dit type voertuig is de enige die niet zelfstandig kan lossen, hiervoor is een kraan nodig. Huifwagens hebben voornamelijk de AEC als bestemming, hier is één kraan aanwezig en plaats voor één wachtende huifwagen. De huifwagens die wachten voor de AEC worden op de linker weghelft direct na de weegbrug geplaatst om te wachten. De huifwagens komen voornamelijk aan tussen 7:00 uur en 9:00 uur, hierna zijn er nauwelijks nog aankomsten. Uit gesprekken met zowel werknemers van Twence als van AEB Amsterdam is de verwachting dat de aankomsten van Huifwagens steeds meer afnemen.

2.2.4 VOERTUIG MET OPLEGGER KIEPTRAILER

Dit type voertuig werkt met een gesloten container die door de chauffeur omhoog gekiept kan worden en op die manier gelost wordt.

2.2.5 TRACTOR

De tractors worden alleen gebruikt voor intern vervoer. De oplegger die de tractors gebruiken zijn opencontainers. Doordat deze alleen op het terrein van Twence rijden hoeven deze niet afgedekt te worden met een zeil.

2.2.6 VOERTUIG MET OPLEGGER TANKWAGEN

Tankwagens worden voornamelijk gebruikt voor het vervoer van vloeibare materialen en gassen. De meeste tankwagens die bij Twence aankomen leveren hulpstoffen aan bij de entiteiten. Uitzondering zijn Tankwagens voor de GFT, deze komen vloeibaar afval lossen.

2.2.7 VOERTUIG MET OPLEGGER WALKING FLOOR

De walking floor is een oplegger die zijn lading lost door een schuivende vloer die de lading naar buiten duwt. Deze worden binnen Twence samen met de Huifwagens gezien als de oorzaak van wachtrijen, doordat ze langere procestijden hebben.

2.3 HET PROCES

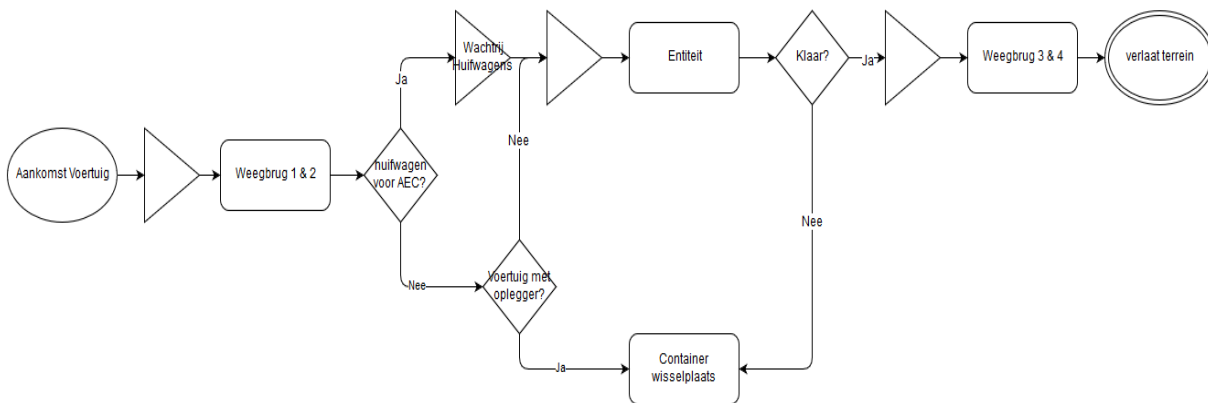
Alle voertuigen die bij Twence aankomen doorlopen een van tevoren bepaald pad van op één volgende stappen. De stappen die een voertuig doorloopt is afhankelijk van de volgende situaties:

- De entiteit waar een voertuig gaat lossen;
- Het aantal opleggers dat een voertuig bij zich heeft;
- Hoe de container is afgedekt;
- Of het voertuig een huifwagen met bestemming AEC is.

In figuur 2.6 staat een stroomschema waarin het proces vanaf de aankomst van een voertuig tot het moment dat het voertuig het terrein verlaat staat weergegeven. Allereerst komen alle voertuigen aan langs de ingaande Weegbrug, waar de vrachtdocumenten worden gecontroleerd, de voertuigen worden gewogen en daarna aangemeld. De pijlen stellen de verkeersstromen voor. De rechthoeken zijn de plekken waar de handelingen in het proces worden uitgevoerd, zoals dus bij de weegbrug. Als laatste vorm zijn er de driehoeken, deze stellen wachtrijen voor. Wanneer er ruimte is om bij de entiteit te storten ontstaan er geen wachtrijen; in feite worden de driehoeken dan overgeslagen.

Zoals in figuur 2.6 te zien is zijn er drie verschillende type routes die een voertuig kan volgen. Met een route wordt bedoeld die opeenvolgende stappen die een voertuig doorloopt van het moment dat het terrein van Twence op rijdt tot het moment dat het voertuig het terrein verlaat. De opeenvolgende stappen zijn een combinatie van de in paragraaf 2.1.1 genoemde entiteiten en faciliteiten. Ook de wegen waarover het voertuig rijdt behoren tot de route. De drie verschillende type routes zijn:

1. Direct naar de entiteit;
2. Via de CWP. Dit is voor voertuigen die meerdere opleggers bij zich hebben;
3. Via de wachtrij huifwagens. Dit geldt voor huifwagens met bestemming AEC.



Figuur 2.6 Voertuigstroom over het Terrein

Veruit de meeste voertuigen gaan direct naar een entiteit zonder verdere stappen uit te voeren op het terrein. In dit onderzoek wordt verondersteld dat alle chauffeurs zo snel mogelijk het terrein weer willen verlaten. Dat betekent dat een chauffeur alleen de noodzakelijke stappen om zijn voertuig te legen uitvoert. Door deze veronderstelling kan de doorlooptijd van een voertuig beschouwd worden als de tijd die het doorbrengt bij:

- De weegbrug;
- De Entiteit;
- De CWP;
- De uitgaande Weegbrug.

De informatiestroom verloopt tijdens het proces in dezelfde richting als de voertuigstroom. Wanneer een voertuig wordt ingewogen, wordt het voertuig aangemeld in het systeem en belangrijke data wordt opgeslagen in SAP. Bij de entiteit kan het aangemelde voertuig bekeken worden door de desbetreffende controleur en wanneer het voertuig klaar is met lossen zal de controleur het voertuig accorderen. Een voertuig dat niet is geaccordeerd kan niet worden uitgewogen, dit staat het systeem niet toe.

Bij afvoer zorgt het accorderen nog wel eens voor problemen doordat de opslag plaats van de af te voeren grondstof niet bij de entiteit van herkomst ligt en er geen controleur aanwezig is. In 2015 waren 1166 ritten niet geaccordeerd, dat is ongeveer 1,4 procent van de ritten. Uitschieter van het aantal niet geaccordeerde vrachten is de TAS met 5,4 procent van alle ritten. Wanneer een voertuig geaccordeerd en uitgewogen is, kan het terrein worden verlaten en is het proces ten einde.

2.4 SAMENVATTING

In dit hoofdstuk is een overzicht van het terrein van Twence gegeven. Alle entiteiten zijn beschreven en er is een selectie gemaakt van de entiteiten die binnen de scope van dit onderzoek vallen. Vervolgens is er een overzicht gegeven van alle voertuigen en is er een keuze gemaakt om sommige voertuigen buiten de analyse te houden. Als laatste is er een overzicht van de wegen gegeven.

In het volgende hoofdstuk wordt een theoretische basis gezocht waarop de rest van dit onderzoek zal steunen.

HOOFDSTUK 3 LITERATUURONDERZOEK

Dit hoofdstuk dient als theoretische basis voor de rest van het onderzoek. Het doel van dit hoofdstuk is om het begrip capaciteit te definiëren en de methodes te vinden waarop dit begrip in het onderzoek gebruikt kan worden.

Doordat capaciteit in verschillende contexten een andere betekenis heeft zullen de verschillende soorten capaciteit op het terrein van Twence in dit hoofdstuk apart aan bod komen. Eerst wordt er in paragraaf 3.1 capaciteit gedefinieerd voor enkele entiteiten en voor het hele terrein. Daarna worden in paragraaf 3.2 de theorieën besproken die inzicht bieden in de capaciteit van wegen. In paragraaf 3.3 wordt de capaciteit van kruisingen uitgewerkt. En als laatste volgt in paragraaf 3.4 een samenvatting van de belangrijkste bevindingen.

3.1 CAPACITEIT

Capaciteit wordt door Reid en Sanders (2005, p.304) gedefinieerd als: "The maximum output rate that can be achieved by a facility". Oliver Wright visualiseert de organisatie als een trechter waar de uiteindelijke output, het water dat uit de trechter stroomt, kleiner is dan de hoeveelheid onderhanden werk aanwezig in de organisatie (Blackstone, 1989). Het is duidelijk dat capaciteit in een operationele context niet gaat over het vermogen tot opnemen, vasthouden of absorberen van een systeem, maar over het aantal producten dat er per tijdseenheid geproduceerd kan worden, of het aantal diensten dat geleverd kan worden. Bozarth en Handfield (2005) gaan mee in deze zienswijze, maar breiden de eenheid die onderzocht wordt uit in de volgende definitie: "Capacity is the capability of a worker, machine, plant, organization to provide goods and services (output) per period of time".

In hun boek *Factory Physics* leggen Hopp en Spearman (1995) verbanden tussen allerlei grootheden die een rol spelen in productiesystemen, zij stellen dat de capaciteit de maximale doorzet van een bepaalde route is. Doorzet (throughput in het Engels) is volgens Hopp en Spearman (1995, p.217) de gemiddelde hoeveelheid goederen die per tijdseenheid worden geproduceerd in een productiehal, productielijn of door een machine. Zo bezien lijken de definities van Bozarth en Handfield (2005) en Hopp en Spearman (1995) erg veel op elkaar, waarbij de laatstgenoemde puur uitgaat van een productieomgeving voegt Bozarth en Handfield (2005) ook menselijke restricties toe aan capaciteit.

Door samenvoegen en toevoegen van gelost voertuig per uur als output ontstaat de volgende definitie voor capaciteit die in dit onderzoek verder gebruikt zal worden:

Capaciteit is het maximale aantal voertuigen dat per uur geholpen (lossen, wegen, etc.) kan worden per entiteit/faciliteit.

Dit onderzoek maakt onderscheid tussen de capaciteit van een entiteit/faciliteit die in de vorige definitie naar voren komt en de terrein capaciteit.

Terrein capaciteit is het maximale aantal voertuigen dat per uur een volledige route bij Twence kan doorlopen.

Een route wordt als volgt beschreven: de volgorde van productiestappen die een product doorloopt van aankomst tot het einde van het proces (Hopp & Spearman, 1995). In het geval van Twence dus de set van faciliteiten, entiteiten en wachtrijen die een voertuig doorloopt

van het moment dat het terrein van Twence wordt opgereden tot het moment dat het weer verlaten wordt.

Capaciteit en Input

Zowel Blackstone (1989) als Reid en Sanders (2005) stippen input aan als een belangrijke bepaler van capaciteit en stellen dat er gevallen zijn waarin het logischer is om capaciteit te relateren aan de input van het proces. Reid en Sanders (2005) kijken dan vooral naar de restricties die door het ontwerp van het productiesysteem op de capaciteit worden gelegd, zoals het aantal beschikbare bedden in een ziekenhuis of het aantal beschikbare machine uren en manuren.

Hoewel Blackstone (1989) deze punten aanstipt leggen zij de nadruk op de aankomsten in het systeem als een belangrijke bepaler van capaciteit. Het belang van aankomsten of vraag benadrukken ze nog maar eens door het voorstel om capaciteit te meten als de gemiddelde productie over een bepaalde periode, deze manier van capaciteit meten zegt echter niks over het maximum dat er behaald kan worden tenzij het geanalyseerde productiesysteem altijd tegen capaciteit aan produceert. Twence wil graag weten welke eventuele overcapaciteit ze hebben, dus dan voegt de methode van Blackstone (1989) niks toe.

Wat wel interessant is, is het verschil tussen een ideale situatie en een normale situatie. Gaan we uit van de eerder in dit hoofdstuk gegeven definitie van capaciteit, dan kan worden gesteld dat de maximale capaciteit van een entiteit wordt bereikt als alle losgaten/weegpunten constant bezet zijn, dus op het moment dat een voertuig een losgat verlaat staat er direct een ander voertuig klaar om te lossen. Dit gaat in de praktijk nooit voorkomen en de redenen hiervoor worden in het volgende stuk gegeven. Een manier om dit in theorie te bereiken is door de wachtrijen voor alle entiteiten vol te laten lopen op zo'n manier dat de entiteiten nooit zonder werk zitten. Het is echter zo dat de wachtrijen bij Twence vaak beperkte ruimte hebben. Om deze reden en omdat het vanuit controle oogpunt makkelijker is aan te sturen zal er voor de capaciteit ook gekeken moeten worden naar:

Werkbare capaciteit; het maximale aantal voertuigen dat Twence per tijdseenheid kan toelaten op haar terrein zonder dat de maximale wachtrijen bij de entiteiten en faciliteiten wordt overschreden of dat er problemen met de doorstroom ontstaan.

Theoretische en effectieve capaciteit

Het idee van een verschil tussen theoretische en effectieve capaciteit wordt door Reid en Sanders (2005) aangedragen. Theoretische capaciteit of 'design capacity' is de capaciteit in de best mogelijke omstandigheden en met de volledig inzet van alle in een organisatie aanwezige hulpmiddelen, dus geen productieverlies door pauzes, stops, etc. waar mogelijk aangevuld met overwerk en inzet van bijvoorbeeld extra machines.

Effectieve capaciteit is dan de maximale output die gehaald kan worden onder normale productieomstandigheden. Volgens Reid en Sanders (2005) is de theoretische capaciteit een korte termijn maatstaf en de effectieve capaciteit zegt meer over de lange termijn productie van een systeem. Bij Twence kan dit geïllustreerd worden met behulp van de entiteit AEC. Lijn 1 & 2 bestaat in totaal uit 4 verschillende losgaten, maar meestal worden er 2 gebruikt.

In de volgende paragraaf zal de terrein capaciteit verder uitgewerkt worden. De verschillende soorten systemen die aan elkaar gelinkt zijn in een route zorgen ervoor dat het daadwerkelijk bepalen van de capaciteit een ingewikkeld proces kan zijn. In de volgende paragraaf worden methoden om de capaciteit van een route te bepalen behandeld.

3.1.2 TERREIN CAPACITEIT

Onderzoeken van o.a. (Buzacott, Shanthikumar en Yao, 1994) (Hopp & Spearman, 1995) geven Onderhanden werk (Work in progress in het Engels), doorzet (throughput in het Engels) en omlooptijd als de belangrijkste pijlers van een productiesysteem. De wet van Little wordt al om gebruikt om deze grootheden aan elkaar te kunnen relateren (Hopp & Spearman, 1995).

$$\text{De wet van Little: Onderhande werk} = \text{doorzet} \times \text{omlooptijd}$$

Twee belangrijke parameters waarmee elke productielijn beschreven kan worden zijn de *bottleneck rate* en de *minimale proces tijd* (Hopp & Spearman, 1995).

Bottleneck rate is de doorzet per tijdseenheid van de bottleneck, dit bepaald tevens de snelheid van het gehele systeem, dus het aankomsten niveau waarmee de maximum bottleneck rate mee wordt gehaald is de maximale aankomst capaciteit. De bottleneck rate is de doorzet van de productiestap met de hoogste benutting.

De *benutting (utilization)* is het percentage van tijd dat een entiteit werk te doen heeft (Hopp & Spearman, 1995; Suri, 2010). Bij Twence wordt de benutting ook wel verblijftijd genoemd, omdat de benutting het percentage van de tijd weergeeft dat er een voertuig bij een entiteit verblijft.

Minimale proces tijd is de kortst mogelijke tijd die een voertuig kan doen over een bepaalde route. Suri (2010) noemt dit *touch time*; de tijd dat er daadwerkelijk aan een product gewerkt wordt. De touch time bij Twence zou de tijd zijn dat een voertuig rijdt, weegt, een container wisselt of lost. Dit zijn namelijk de kritieke stappen in het proces en zolang deze zo snel mogelijk worden uitgevoerd vormt dit geen verlies.

Gebruik van de wet van Little met de bottleneck rate en minimale proces tijd, levert het *kritieke onderhanden werkniveau* op. Het kritieke onderhanden werkniveau is voor een productielijn zonder variabiliteit het niveau van aantal producten in het systeem waarvoor de doorzet zo groot mogelijk is bij een minimale omlooptijd (Hopp & Spearman, 1995); in feite dus de maximale theoretische capaciteit.

Alle systemen in de werkelijkheid hebben te maken met variabiliteit, zo ook de processen bij Twence. Om toch tot uitspraken te komen over de capaciteit en de reactie van processen op verandering moet er goed nagedacht worden over de manier waarop variabiliteit wordt meegenomen in het onderzoek. De volgende paragraaf zal dieper ingaan op de effecten van variabiliteit, de manier waarop variabiliteit gemodelleerd kan worden en hoe wachtrijen ontstaan.

3.1.3 DOORSTROOM EN WACHTRIJEN

In de vorige paragraaf is beschreven hoe de theoretische capaciteit van een productiesysteem kan worden gevonden, wanneer alle entiteiten en faciliteiten individueel te geanalyseerd worden. In deze paragraaf linken we alle entiteiten en faciliteiten aan

elkaar door de doorstroom (flow) tussen de verschillende productiestappen als analyse eenheid te nemen. Waar in de vorige paragrafen een optimale situatie werd beschouwd, wordt in deze paragraaf variabiliteit (randomness) in het systeem geïntroduceerd. Speciale aandacht gaat uit naar de relatie tussen variabiliteit en het ontstaan van wachtrijen. Aan het einde van deze paragraaf worden een aantal strategieën gegeven voor het verminderen van variabiliteit.

De doorstroom tussen twee productiestappen wordt bepaald door de aankomsten per tijdseenheid (arrival rate) r_a en het aantal verlatende voertuigen per tijdseenheid (departure rate) r_d (Hopp & Spearman, 1995). Als wordt aangenomen dat de reistijd tussen de eerste stap en zijn opvolger nul is dan is de r_d van stap 1 de r_a van stap 2. Wanneer aangenomen wordt dat de ritten tussen de verschillende faciliteiten en entiteiten productiestappen zijn, dan kan er worden aangenomen dat de reistijd tussen productiestappen nul is. De overgang van de r_a van een productiestap naar de r_d van de dezelfde stap wordt bepaald door het productietempo (production rate in het Engels) r_e (bijvoorbeeld aantal geloste voertuigen per uur) van de productiestap. Als de r_a kleiner is dan de r_e dan is r_d gemiddeld gelijk aan de r_e . Is de r_a groter dan de r_e dan ontstaan er grote wachtrijen voor de productiestap.

Variabiliteit

Het komt zelden voor dat de tijdtussen aankomsten gelijkmatig verdeeld is. De ongelijkmatige verdeling van aankomsten is het moment dat variabiliteit in het systeem wordt geïntroduceerd (Hopp & Spearman, 1995). De andere plek waar variabiliteit kan ontstaan in het systeem is bij de productiestappen, hier komt variabiliteit door:

- Natuurlijke variatie. Procestijden zijn nooit helemaal gelijk aan elkaar en natuurlijke variatie is inherent aan elk systeem;
- Variatie door onderhoud. Dit kan zowel gepland als ongepland onderhoud zijn waardoor de productie komt stil te liggen en de r_e dus meer varieëert;
- Set-ups en herbewerking. Variatie die ontstaat doordat het proces stil ligt voor het klaarzetten voor een ander product of doordat producten door fouten nog een keer bewerkt moeten worden.

Bij Twence is er nauwelijks onderhoud tijdens openingstijden en er zijn er nauwelijks herbewerkingen. Set-ups komen helemaal niet voor. Variabiliteit komt in het proces voor door de verschillende typen voertuigen en door Natuurlijke variatie. Doordat Twence weinig vat heeft op de soorten voertuigen waarmee leveranciers komen (alles is welkom, zolang er aan bepaalde voorwaarden worden voldaan) kan de verschillende type voertuigen ook onder natuurlijke variatie worden geschaard.

Een methode om de mate van variabiliteit te meten is het variatie coëfficiënt (vc), hierbij wordt de standaard afwijking van een grootheid gedeeld door het gemiddelde van dezelfde grootheid (bijvoorbeeld productietijd). De standaard afwijking is een manier om de gemiddelde afwijking van het gemiddelde, ook wel spreiding genoemd, te berekenen. Hopp en Spearman (1995) verdelen de vc in drie groepen, te weten weinig variabiliteit, middelmatige variabiliteit en veel variabiliteit, zie tabel 3.1 voor de drempel waarden.

Tabel 3.1 Verdeling van variabiliteit in klassen	
Weinig variabiliteit	$vc < 0,75$
Middelmatige variabiliteit	$0,75 < vc < 1,33$
Veel variabiliteit	$vc > 1,33$

Variabiliteit wordt op dezelfde manier tussen productiestappen doorgegeven als tijd tussen aankomsten, dat wil zeggen vc_d van het eerste station is de vc_a van de tweede. De waarde van vc wordt bepaald door het vc_a en het vc_e van de productiestap, de mate waarin beide effect hebben op de vc_d is mede afhankelijk van de benutting (zie paragraaf 3.1.2) bij een productiestap (Buzacott et al., 1994; Hopp & Spearman, 1995; Srinivasa & Viswanadham, 2001; Suri, 2010). Een productiestap met een benutting van 100% heeft altijd werk te doen en elke nieuwe aankomst wordt in een wachtrij geplaatst, waardoor alle variabiliteit in aankomsten verdwijnt. Andersom is de variabiliteit bij een benutting van 0% volledig afhankelijk van de variabiliteit in aankomsten, doordat elke aankomst gelijk geholpen kan worden.

Wachtrijen

In een stabiel systeem, dat wil zeggen $r_a < r_e$ voor alle productiestappen, worden wachtrijen volledig veroorzaakt door variabiliteit (Buzacott et al., 1994). Systemen waar sprake is van wachtrijen kunnen worden geanalyseerd met behulp van wachtrij theorie. Wachtrij theorie ziet een productiesysteem als een geboorte-sterfte proces (Srinivasa & Viswanadham, 2001), waarbij de geboortes bepaald worden door het aantal aankomsten per tijdseenheid en de sterfte door de gemiddelde procestijd. Wachtrij theorie is ontwikkeld voor een proces waarbij de tijd tussen aankomsten en de procestijden negatief exponentieel verdeeld zijn. De negatief exponentiële verdeling heeft als één van zijn kenmerken dat het gemiddelde en standaard deviatie gelijk aan elkaar zijn, dat betekent dus een vc van 1. Sinds de ontwikkeling van wachtrij theorie hebben veel onderzoekers waaronder Buzacott et al. (1994) en Srinivasa en Viswanadham (2001) manieren gevonden om de formules van wachtrij theorie in te schakelen bij processen waar de aankomsten en procestijden niet worden bepaald door een negatief exponentiële verdeling.

Om wachtrij theorie toe te kunnen passen dienen aan een aantal volwaarden voldaan te zijn. Waaronder dat het systeem zich in een stationaire toestand moet bevinden. Een stationaire toestand kan ontstaan wanneer het systeem oneindig lang kan 'draaien' en de gemiddelde aankomsten tijdens deze tijd gelijk blijven. Aan beide voorwaarden voldoet de situatie niet. De aankomsten verschillen sterk op verschillende momenten van de dag. Daarnaast is het terrein elke dag maar beperkt open. Een stationaire toestand kan dus nooit bereikt worden.

Ondanks dat variabiliteit in een systeem doorgaans zorgt voor slechtere prestaties, is het te kort door de bocht om te zeggen dat alle variabiliteit uit een systeem gebannen moet worden. Suri (2010) noemt bijvoorbeeld variabiliteit die voortkomt uit een strategische beslissing als een vorm van variabiliteit die voor lief wordt genomen. Een voorbeeld bij Twence is de beslissing om meerdere soorten voertuigen met verschillende gemiddelde lostijden bij een toe te staan. Hier wordt de strategische behoefte om flexibiliteit aan de klant te bieden belangrijker dan de variabiliteit die hierdoor geïntroduceerd wordt. De slechte vorm van variabiliteit ontstaat door slechte controle van het systeem, bijvoorbeeld geen regulering van aankomsten, of door slecht ontwerp van het systeem. Dit betekent dat de oplossing voor het verminderen van variabiliteit in één van deze twee categorieën gezocht moet worden.

Vermindering variabiliteit

Volgens Hopp en Spearman (1995) moet er altijd ingeleverd worden op onderhanden werk, omlooptijd of doorzet om variabiliteit te verminderen. Dus om variabiliteit uit te bannen moet

er altijd een overschot zijn aan voorraad, capaciteit of doorlooptijd. Welke van de drie gekozen wordt om een overschot van te hebben hangt af van het productieproces.

Het doel van Twence is om de doorlooptijd op het terrein te verkorten, dus een overschot op tijd om variabiliteit uit te bannen is bij voorbaat uitgesloten. Voorraad bij Twence kan worden gezien als het aantal voertuigen op en voor het terrein, dus Twence zou hier alleen een overschot op kunnen creëren door ze langer voor de Weegbrug te laten wachten, door buffers op het terrein te creëren wordt de doorlooptijd langer. Vergroten van de capaciteit zorgt ervoor dat een voertuig altijd terecht kan bij een entiteit of faciliteit, nadeel van deze strategie is dat het erg duur is en dat door de lagere benutting de kosten ook minder snel terug verdiend worden. Een laatste methode is het aanpakken van de variabiliteit bij de aankomsten, door hier meer op te sturen kan de variabiliteit al aan het begin worden aangepakt.

3.2 WEG CAPACITEIT

Het doel van dit onderdeel is om een formule te vinden voor de snelheid die een bepaald voertuig op de weg bereikt. Deze formule wordt gebruikt om de tijd te kunnen bepalen die het duurt voordat een bepaald voertuig bij zijn bestemming aankomt en om te kunnen bepalen bij hoeveel voertuigen er een opstopping op de weg plaats vindt, wat dus de capaciteit is.

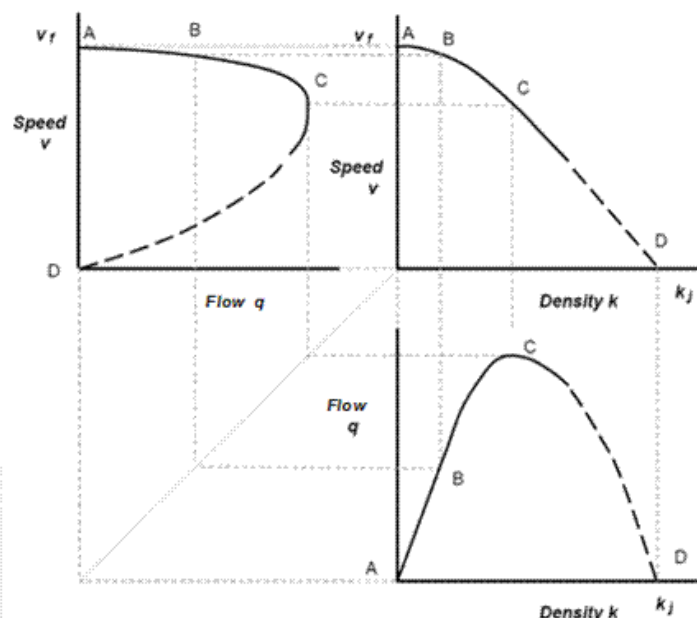
3.2.1 HET FUNDAMENTELE DIAGRAM VAN VERKEERSTROMEN

In 1935 voerde Bruce Greenshields het eerste onderzoek uit naar de eigenschappen van verkeersstromen (Nagatani, 2002, p. 1333). De belangrijkste resultaten van Greenshields (1935) zijn de fundamentele verkeersformule en het daar uitvolgende fundamentele diagram (figuur 3.1). De fundamentele formule van verkeersstromen ziet er als volgt uit:

$$q = ku$$

Waarbij:

- q de verkeersintensiteit is, gegeven door het aantal voertuigen per tijdseenheid dat langs een vast punt op de weg komt;
- k de verkeersdichtheid is, gegeven door het aantal voertuigen dat zich op een bepaald stuk weg bevindt op een bepaald moment in tijd;
- u is de gemiddelde snelheid van de voertuigstroom.



Figuur 3.1 Fundamentele diagrammen verkeersstromen van www.paulbennett.id.au

In figuur 3.1 staan de drie variabelen van de fundamentele formule tegen elkaar afgezet: Links bovenin de snelheid als functie van de verkeersintensiteit; rechts bovenin de snelheid als functie van de dichtheid; en rechts onderin

de verkeersintensiteit als functie van de dichtheid. Daar naast zijn in de figuur de belangrijkste punten in de grafiek weergegeven met de letters A t/m D en als laatste zijn er twee parameters weergegeven, k_j en u_f . De letters komen overeen met de fase veranderingen die een verkeersstroom kan doormaken (Chowdhury, Santen, & Schadschneider, 2000). De fase veranderingen zijn:

- A. Vrije fase. Hier ondervinden de voertuigen geen last van elkaar en blijft de gemiddelde snelheid praktisch gelijk bij toenemende dichtheid, de snelheid die hier gehaald wordt is de vrije snelheid u_f ;
- B. Einde vrije fase. De gemiddelde snelheid begint langzaam af te nemen bij grotere dichtheden maar de intensiteit groeit nog wel, voertuigen krijgen last van elkaar;
- C. Maximale intensiteit. Dit is het punt waar de maximale capaciteit zoals die in paragraaf 3.1 is gedefinieerd wordt bereikt. In het gebied na C begint vertraging door files/langzaam rijdend verkeer;
- D. Maximale dichtheid. Op dit punt is het aantal aanwezige voertuigen op de weg zo groot dat alles stil is komen te staan, de dichtheid die hierbij hoort is de 'jam-density' of 'file dichtheid' k_j .

Het fundamentele diagram is in veel afwijkende vormen verschenen door de jaren heen (Chowdhury et al., 2002). De verscheidene vormen van het fundamentele diagram zijn ontstaan doordat er meerdere onderliggende modellen worden gebruikt om de waargenomen gebeurtenissen in verkeersstromen te verklaren.

3.2.2 MODELLEN VERKEERSSTROMEN

Na het eerste onderzoek van Greenshields zijn er vele onderzoekers gekomen die metaforen uit natuurkundig onderzoek hebben gebruikt om waarneming in verkeersstromen te verklaren (Nagatani, 2002; Chowdhury et al., 2000). In hun onderzoek naar filevorming zien Lighthill en Whitham de verkeersstroom als een vloeistof, die ingedrukt en uitgerekt kan worden en wordt het vloeistof dynamische model (fluid-dynamic model) genoemd (Chowdhury et al., 2000; Jiang, Wu en Zhu, 2002; Nagatani, 2002). De belangrijkste aanname is dat al het verkeer met een snelheid rijdt die gelijk is aan de gemiddelde snelheid van de verkeersstroom, oftewel de snelheid is een functie van de dichtheid (Jiang et al., 2002). Het vloeistof dynamische model is het belangrijkste model van het zogenaamde macroscopische perspectief (Chowdhury et al., 2000; Nagatani, 2002).

Wetenschappers zoals Newell (1961), Bando et al., Nagatani (2000) en Treiber et al. (2000) zijn vanuit het oogpunt van het individuele bestuurder gaan kijken naar de gedragingen van verkeer (TU Delft, 2016). De modellen waarbij de acties van individuele bestuurders worden gesimuleerd worden 'car-following' modellen genoemd. In 'car-following' modellen worden voertuigen en hun bestuurders gezien als een deeltje dat kan versnellen en remmen, waarbij de acceleratie wordt berekend op basis van de formules uit de dynamica (Chowdhury et al., 2000).

De laatste onderzoeksrichting naar verkeersstromen wordt verricht vanuit het oogpunt van gas kinetische modellen. In 1961 heeft Prigogine onderzoek gedaan naar het gebruik van de Boltzmann formule van gasdeeltjes om verkeersstromen te verklaren (Nagatani, 2002). In zijn onderzoek neemt Prigogine aan dat alle voertuigen samen streven naar een ideale dichtheid net als gasdeeltjes, deze aanname is in latere jaren op kritiek gestuit omdat er een te ideale situatie van verkeer zou worden geschetst (Chowdhury et al., 2000).

Van alle hierboven genoemde modellen lijkt de 'car-following' methode het beste bij de doeleinden van het onderzoek te passen. De vloeistof modellen gaan uit van een vaste gemiddelde snelheid waarbij de snelheid van de individuele voertuigen niet wordt uitgewerkt, het is juist deze snelheid die van belang is voor dit onderzoek. De fundamentele formule is wél interessant, omdat deze gebruikt kan worden om de capaciteit van een weg te vinden. Dat de car-following modellen uitgaan van het gedrag van het individuele voertuig is een voordeel, want dat maakt het bepalen van de snelheid per voertuig makkelijker.

3.2.3 CAR-FOLLOWING MODELLEN

'Car-following' modellen gebruiken het stimulus reactie principe beschreven in de klassieke mechanica (Chowdhury et al., 2002). Het verschil tussen de bestaande car-following modellen zijn de gebruikte stimuli, bijvoorbeeld optimale snelheid, snelheid verschil of afstand tussen voertuigen. Voor de stimuli wordt altijd gekeken naar het verschil tussen het bestudeerde voertuig en een ander voertuig op de weg, meestal het eerste voertuig er voor, maar soms ook het een voertuig dat er verder voor zit of zelfs het eerste achter het bestudeerde voertuig (Chowdhury, 2000).

De twee belangrijkste 'car-following' modellen zijn de *Optimal Velocity Model* (OVM) en het *Intelligent Driver Model* (IDM) (Nagatani, 2002). Het OVM is voor het eerst in 1961 door Newell geïntroduceerd. Het idee achter het OVM is dat een bestuurder reageert op veranderingen in de afstand met het voertuig voor hem. De reactie van de bestuurder resulteert in een optimale snelheid op tijd $t + \tau$, waarbij τ de reactietijd van de bestuurder is (Chowdhury et al., 2000; Helbing, 2001; Nagatani, 2002). De OVM die zijn ontwikkeld zijn relatief simpel te begrijpen en gemakkelijk toe te passen, waardoor ze ideaal zijn voor simulatiestudies (Nagatani, 2002). Echter hebben de OVM wel het probleem dat botsingen mogelijk zijn en dat bij sommige modellen acceleraties voor kunnen komen die niet realistisch zijn (Nagatani, 2002; Treiber et al., 2000).

De hierboven genoemde problemen leidde Treiber, Hennecke en Helbing ertoe om het IDM te ontwikkelen. Het IDM gaat ervan uit dat de acties van een bestuurder (versnellen of remmen) afhangen van het verschil in snelheid tussen zijn eigen voertuig en het eerst volgende voertuig (Treiber et al., 2000). Door toevoeging van de relatieve snelheid kunnen botsingen voorkomen worden, daarnaast zorgt deze term er ook voor dat de belangrijkste macroscopische termen van verkeer gemodelleerd kunnen worden (Nagatani, 2002; Helbing, 2001; Treiber et al., 2000; 2008). Andere voordelen van het IDM zijn (Treiber et al., 2000; 2008):

- Makkelijk te begrijpen variabelen en parameters;
- De variabelen en parameters zijn makkelijk te meten en de gevonden waarden moeten zo realistisch mogelijk zijn;
- Er is een link met de fundamentele formule bekend;
- Er mogen geen aanrijdingen zijn of dichtheden die groter zijn dan de file dichtheid; Het model is makkelijk en snel te simuleren.

De hierboven genoemde redenen maakt het IDM ideaal voor de doeleinden van dit onderzoek en wordt daarom gebruikt om de snelheid van de individuele voertuigen te bepalen, daarnaast is het ook mogelijk om een schatting te geven van de totale

wegcapaciteit met behulp van het IDM. Het IDM wordt in de volgende sectie in groter detail behandeld.

3.2.4 HET INTELLIGENT DRIVER MODEL

In dit stuk volg een beschrijving van het IDM, zoals die gegeven wordt door Helbing (2001) en Treiber et al. (2000). De formules die in dit stuk worden afgeleid vormen de basis voor de manier waarop verkeer wordt gemodelleerd in de simulatie, zie ook hoofdstuk 5.2.4.

In het IDM wordt ervan uit gegaan dat een bestuurder van een voertuig alleen de controle heeft over de acceleratie dan wel deceleratie van zijn voertuig. De mate van acceleratie hangt af van de afstand tot het voertuig ervoor en het snelheidsverschil met het voertuig voor de bestuurder. Om er voor te zorgen dat het model ook werkt voor het eerste voertuig in een rij, dus zonder directe voorganger, gaat het IDM er van uit dat elke bestuurder een voorkeursnelheid heeft en indien mogelijk hier altijd naar toe zal versnellen. Als laatste heeft de bestuurder ook nog een voorkeurs afstand tot de directe voorganger en deze is afhankelijk van het snelheidsverschil met diezelfde voorganger. De formules die bij het IDM hoort ziet er als volgt uit:

$$\frac{dv_\alpha}{dt} = a_\alpha \left[1 - \left(\frac{v_\alpha}{v_\alpha^0} \right)^\delta - \left(\frac{s_\alpha^*(v_\alpha, \Delta v_\alpha)}{s_\alpha} \right)^2 \right]$$

Met:

$$s_\alpha^*(v_\alpha, \Delta v_\alpha) = s'_\alpha + s''_\alpha \sqrt{\frac{v_\alpha}{v_\alpha^0}} + T_\alpha v_\alpha + \frac{v_\alpha \Delta v_\alpha}{2\sqrt{a_\alpha b_\alpha}}$$

In tabel 3.2 staan alle variabele en parameters met betekenis en waarde erbij. In de rest van dit onderzoek zal er voor de parameters v_α^0 , a_α , b_α , s'_α en T_α geen onderscheid gemaakt worden tussen verschillende voertuigen, daardoor zal het onderschrift α komen te vervallen. De redenen voor de homogene parameters zijn dat het een onderzoek op zich is om de mogelijke distributies van de genoemde parameters te bepalen, dat het de simulatie een stuk ingewikkelder maakt en vertraagd en omdat andere studies zoals die van Treiber et al. (2000; 2008) ook gebruik maken van homogene parameters. Daarnaast hebben Treiber et al. (2000; 2008) onderzoek gedaan naar de parameters en zij hebben geconcludeerd dat de gevonden waarden voor de parameters, die in tabel 3.2 staan, als gemiddelde aannemelijk zijn.

Benadering wegcapaciteit

Om een benadering van de wegcapaciteit te vinden kan er een link naar het macroscopische verkeersmodel worden gelegd. In het macroscopische model wordt er van een situatie uitgegaan waarin de snelheid van alle voertuigen gelijk is. De voertuigen accelereren dus niet en bij gelijke eigenschappen van de chauffeurs zijn de afstanden tussen de auto's ook gelijk. Wordt $\frac{dv_\alpha}{dt} = \Delta v_\alpha = 0$ ingevuld in de IDM formule dan krijgen we de volgende formule voor de snelheidsafhankelijke afstand tussen voertuigen in verkeerstroam die in balans is $s_e(v)$:

$$s_e(v) = s^*(v, 0) \left[1 - \left(\frac{v}{v_0} \right)^\delta \right]^{-\frac{1}{2}}$$

Met:

$$s^*(v, 0) = s' + vT$$

In paragraaf 3.2.1 is de fundamentele formule van verkeerstrom gegeven en deze kan worden geschreven als $q = kv(k)$, waarbij $v(k)$ de snelheid afhankelijk van de dichtheid k is. Het microscopisch perspectief kan met het macroscopisch perspectief worden verbonden door de volgende relatie (Treiber, Hennecke, & Helbing, Microscopic simulation of congested traffic, 2000):

Laat s de gemiddelde afstand tussen de voertuigen zijn, laat l de gemiddelde lengte van de voertuigen zijn en laat k de dichtheid op een stuk weg zijn dan geldt:

$$s = \frac{1}{k} - l = \frac{1}{k} - \frac{1}{k_j}$$

Tabel 3.2 Variabelen en Parameters IDM

Variabele/parameter	Betekenis	Waarde voor vrachtwagens (mits bekend)
$\frac{dv_\alpha}{dt}$	Acceleratie van voertuig α	-
a_α	Gewenste maximale acceleratie bestuurder van voertuig α	3,0 m/s ²
v_α	De huidige snelheid van voertuig α in m/s	-
v_α^0	De gewenste snelheid bestuurder voertuig α in m/s	-
$s_\alpha^*(v_\alpha, \Delta v_\alpha)$	Gewenste afstand tot voertuig $\alpha - 1$, afhankelijk van de snelheid van voertuig α en het snelheidsverschil met voertuig $\alpha - 1$	-
s_α	Huidige afstand tussen voertuig α en voertuig $\alpha - 1$ in m	-
δ	Acceleratie exponent, bepaald de vorm van de acceleratie grafiek; exponentieel over tijd voor $\delta = 1$ en constant voor $\delta \rightarrow \infty$	Treiber et al. (2000) raden aan een waarde van 4
s'_α	Stopafstand, gewenste afstand tussen voertuigen bij file in m	Treiber et al. (2000) zetten deze waarde op 2 meter
s''_α	Tweedegraads stopafstand	Deze kan op 0 gezet worden Helbing (2001)
T_α	Veilige tijdsafstand, afstand tussen voertuig α en voertuig $\alpha - 1$ gemeten in seconden	Treiber et al. (2000) geven 1,8 seconden. Vanuit de overheid wordt 2 seconden aangeraden.
b_α	Comfortabele deceleratie bestuurder van voertuig α in m/s ²	-3,0 m/s ²
Δv_α	Relatieve snelheid, verschil in snelheid tussen voertuig α en voertuig $\alpha - 1$ in m/s	

Dus door $s_e(v)$ gelijk te stellen aan s en de waarde van v van 0 tot v_0 in de formule van $s_e(v)$ te stoppen kan er een fundamenteel diagram gegenereerd worden en aan de hand hiervan kan de capaciteit bepaald worden.

3.3 Capaciteit van een kruising

De Duitse en Amerikaanse overheden gebruiken voor het plannen van wegen en kruisingen de richtlijnen die staan beschreven in het Handbuch für die bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS, 2001) en het Highway Capacity Manual (HCM, 2000) respectievelijk (Knote, 2011). In deze handboeken worden methodes gegeven voor het berekenen van de capaciteit, vertraging en service niveaus (HCM, 2000). In dit onderzoek zullen de richtlijnen van de HCM (2000) gebruikt worden als basis voor het analyseren van de kruising. Het voordeel van de HCM is dat het gebaseerd is op wetenschappelijk onderzoek dat door een groep van experts is beoordeeld. Voor de basis verkeerssituaties worden makkelijk te gebruiken formules gegeven met intuïtieve variabelen en parameters, zodat de formules goed te implementeren zijn door niet experts. Voor ongebruikelijke situaties geeft de HCM richtlijnen voor het aanpassen van de basis formules (HCM, 2000).

De HCM (2000) onderscheidt de volgende kruisingen zonder stoplichten:

- Kruisingen met twee stop borden;
- Kruisingen met vier stop borden; en
- Rotondes.

Voor kruisingen zonder stop borden, die dus volgens de regel werken waarbij voertuigen van rechts voorrang krijgen, is geen formele methode voor analyse, dit komt doordat kruisingen die volgens deze regel opereren normaal gesproken meer dan toereikende capaciteit hebben (Tan & Tufo, 1997). De HCM (2000) geeft een minimale capaciteit per arm van een standaard kruising onder normale omstandigheden van 1100 voertuigen per uur. De kruising die geanalyseerd wordt in dit onderzoek is volgens medewerkers van Twence een standaard kruising als het gaat om lengte en breedte van de kruising. De voertuigen die over de kruising gaan vallen niet onder normale omstandigheden. De HCM beschouwt het percentage van zware voertuigen (vrachtwagens, bussen en campers) van 2% onder normale omstandigheden. Voor dit onderzoek wordt er uit gegaan van een percentage van 100% zware voertuigen. Daarnaast is de verdeling van aankomsten per arm ver van gelijk verdeeld. Het is dus de vraag of de normale capaciteit gegeven door de HCM voor de onderzochte situatie opgaat.

De HCM maakt gebruik van het 'Gap Acceptance' model bedacht door Harders (1968) (Brilon & Wu, 2001). 'Gap Acceptance' gaat ervan uit dat een bestuurder zelf beslist wanneer er genoeg ruimte is om een actie uit te voeren. De acties zijn kruisende verkeerstroomben passeren, in voegen in de kruisende verkeerstroomben of een combinatie van de twee. Het minimale gat (in seconden) dat een bestuurder accepteert voor een actie wordt het kritieke gat (t_c) genoemd (HCM, 2000). Het kritieke gat hangt af van de actie die de bestuurder wil ondernemen en het soort verkeerstroomben dat hij wil kruisen.

De verkeerstromen zijn de verkeerstroomben op een voorrangsweg en op een gewone weg, in de HCM (2000) aangegeven met 'major' en 'minor'. De acties die uitgevoerd kunnen worden zijn rechts afslaan (ra), links afslaan (la) en rechtdoor rijden (rr) alle mogelijke bewegingen staan in figuur 3.2. Het kritieke gat wordt bepaald met de volgende formule:

$$t_c = t_{cb} + t_{cHV}P_{HV} + t_{cG}G - t_{cT} - t_{3LT}$$

De betekenis van alle variabelen en parameters staat in tabel 3.3. Het kritieke gat voor de eerste wachtende bij een kruising geldt niet voor een tweede wachtende. Uit onderzoek blijkt dat de tweede bestuurder met een minder groot gat genoeg neemt dan de eerste, dit is de zogenaamde 'follow up gap' of volg gat (t_f) wordt berekend met de volgende formule (HCM, 2000):

$$t_f = t_{fb} + t_{fHV}P_{HV}$$

In tabel 3.4 staat het basis gat dat een bestuurder accepteert afhankelijk van het soort beweging.

Er wordt aangenomen en dat hetzelfde kritieke gat geldt voor alle bestuurders.

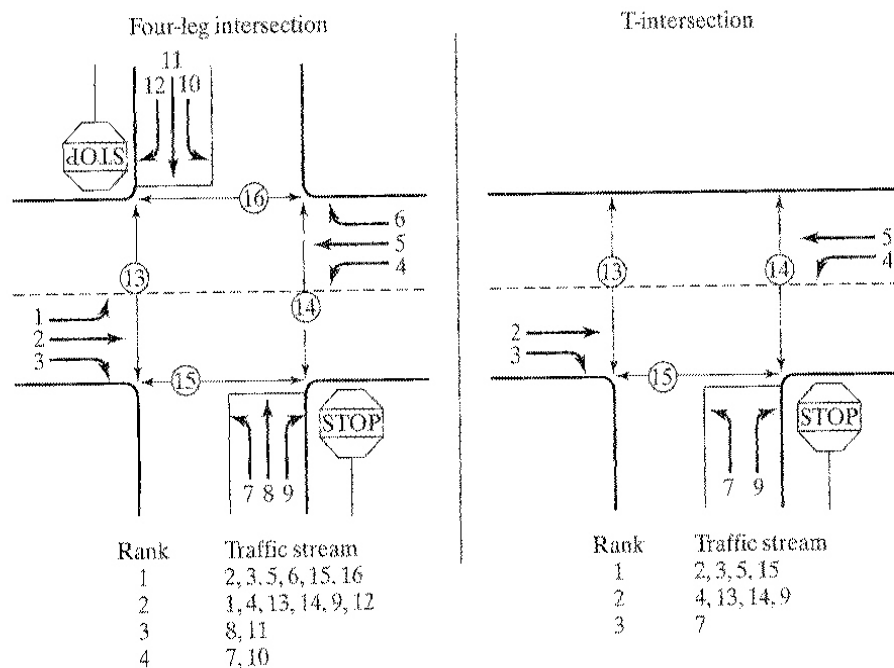
De capaciteit van een kruispunt wordt uitgerekend door per beweging te berekenen

hoe vaak er een gat ontstaat dat

groter is dan of gelijk aan het kritieke gat in de conflicterende stromen, dit is de potentiële capaciteit per stroom ($c_{p,x}$) en wordt gegeven door de volgende formule waarbij $v_{c,x}$ het conflicterende volume is van verkeerstroom x in voertuigen per uur:

$$c_{p,x} = v_{c,x} \left[\frac{e^{-(v_{c,x}t_{c,x}/3600)}}{1 - e^{-(v_{c,x}t_{f,x}/3600)}} \right]$$

De gevonden capaciteit houdt nog geen rekening met de prioriteit van verschillende bewegingen, het kan namelijk voorkomen dat er voor stroom a en b een gat ontstaat in stroom c die voor allebei groot genoeg is. In het genoemde geval zal stroom a aan stroom b voorrang moeten verlenen waardoor het voertuig uit de andere stroom langer staat te wachten en de totale capaciteit afneemt, de factor waarmee de capaciteit door deze situaties afneemt wordt de 'impedance factor' (f_x) genoemd, de berekening hiervan staat in bijlage A. De effectieve capaciteit per stroom ($c_{m,x}$) kan dan berekend worden met:



Figuur 3.2 Mogelijke Verkeersbewegingen Kruising, uit HCM (2000)

$$c_{m,x} = c_{p,x} f_x$$

De capaciteit van de armen van de kruising c_{sh} kan worden uitgerekend met behulp van de formule:

$$c_{sh} = \frac{\sum v_x}{\sum \frac{v_x}{c_{m,x}}}$$

In de bovenstaande formule worden de stroom volumes van alle mogelijke bewegingen bij een arm opgeteld en gedeeld door de som van de stroom volumes als fractie van de capaciteit van dezelfde beweging. In tabel 3.4 staat per actie en soort kruisende stroom het gemiddelde kritieke gat.

3.5 SAMENVATTING

In dit hoofdstuk is het begrip capaciteit uitgewerkt. Door als eerste een definitie te geven en daarna uit te werken voor afzonderlijke entiteiten. Daarna is er besproken hoe de capaciteit van een productiesysteem gevonden kan worden en de belangrijkste uitkomst is dat het afhangt van de *doorzet van de bottleneck*. Vervolgens is er behandeld welk effect variabiliteit heeft op een productiesysteem, hoe variabiliteit door het productiesysteem heen stroomt en op welke manier variabiliteit het best kan worden aangepakt.

In het tweede gedeelte van het hoofdstuk ging de aandacht uit naar capaciteit van wegen. Er is een uitwerking gegeven van het Intelligent Driver Model, waarmee niet alleen verkeerstromen gesimuleerd kunnen worden maar het kan in gegeneraliseerde vorm ook gebruikt worden om de snelheid van een auto te bepalen bij een bepaalde dichtheid.

Als laatste is een methode beschreven om de capaciteit van de Kruising te bepalen. Allereerst wordt er gezocht naar de potentiële capaciteit van de kruising via de Gap Acceptance methode van Harders (1968) en vervolgens is de reële capaciteit via het conflicting traffic streams model.

Nu de theoretische basis voor het onderzoek klaar ligt kunnen de inzichten van dit hoofdstuk gebruikt worden voor een analyse van de huidige situatie en is het duidelijk welke inputs gevonden moeten worden om een goed simulatie model te maken. Dit gebeurt in hoofdstuk 4.

Tabel 3.3 Variabelen en Parameters model Harders(1968)

Variabele/parameters	Beschrijving	Waarde
t_c	Kritieke gat in seconden	-
t_{cb}	Basis gat in seconden, afhankelijk van het soort beweging zie tabel 3.x	Zie tabel 3.x
t_{cHV}	aanpassing voor zware voertuigen in seconden	1,0, tweebaansweg 2,0, vierbaansweg
P_{HV}	Percentage zware voertuigen in totale voertuig stroom	-
t_{cG}	Aanpassing voor helling in seconden	0,1 beweging 9 en 12 0,2 beweging 7, 8, 10 en 11 1,0 overige
G	Hellingsgraad in decimalen	-
t_{cT}	Aanpassing voor aantal stappen kruising in seconden	1,0, 2 stappen 0,0 1 stap
t_{3LT}	Aanpassing voor een minor LA bij	0,7

Tabel 3.4 Minimale Tijdgaten in Seconden

Soort beweging	tcb, sec		tfb, sec
	tweebaansweg	vierbaansweg	
Major LA	4,1	4,1	2,2
Minor RA	6,2	6,9	3,3
Minor RR	6,5	6,5	4,0
Minor LT	7,1	7,5	3,5

HOOFDSTUK 4 HUIDIG SITUATIE

Het doel van dit hoofdstuk is om het proces bij Twence te vangen in een dataset die vervolgens gebruikt kan worden in de simulatie. In hoofdstuk 3 is beschreven dat de prestaties van een productiesysteem afhangen van de tijd tussen aankomsten, de procestijden en door de variabiliteit in het systeem. Om het effect van de variabiliteit op de prestaties van het systeem te onderzoeken moeten er dus waarde voor de andere twee variabelen gevonden worden. Daarnaast kijken we naar het effect van variabiliteit op de aankomsten en procestijden.

De aankomsten worden in paragraaf 4.1 aan de hand van de verdeling van type voertuigen per entiteit per uur. In paragraaf 4.2 worden de procestijden door middel van observaties op het terrein.

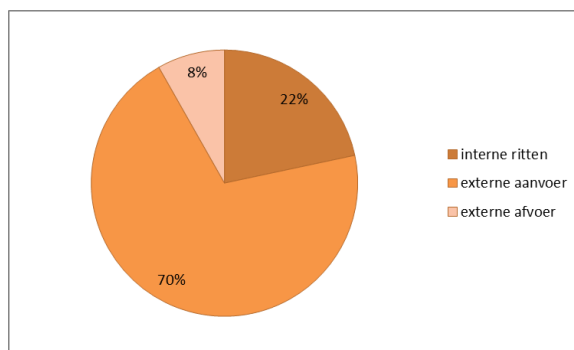
Naast het vinden van de input variabelen voor de simulatie dient dit hoofdstuk ook als cijfermatige afbakening van het onderzoek. Daarom wordt in paragraaf 4.3 de doorlooptijden gepresenteerd en in paragraaf 4.4 de theoretische capaciteit van de entiteiten en faciliteiten berekend. Aan het einde van dit hoofdstuk wordt een korte samenvatting gegeven.

4.1 AANKOMSTEN

Er zijn bij Twence gemiddeld per dag 412 aankomsten, die in vier soorten aankomsten met twee dimensies verdeeld worden, namelijk extern/intern en aanvoer/afvoer; de mogelijke combinaties zijn dus interne aanvoer, interne afvoer, externe aanvoer en externe afvoer. In figuur 4.1 staan de verdelingen tussen deze aankomsten. In

het figuur zijn de interne aanvoer en interne afvoer samengenomen, omdat een interne rit zowel uit afvoer als uit

aanvoer bestaat. Er wordt door Twence geen informatie over interne afvoer opgeslagen in SAP, alleen van de aanvoer, daarom worden de aanvoer en afvoer als één aankomst beschouwd in dit onderzoek. Het overgrote gedeelte van alle aankomsten zijn externe aanvoer en dit is ook het type aankomst dat in dit onderzoek geanalyseerd wordt.



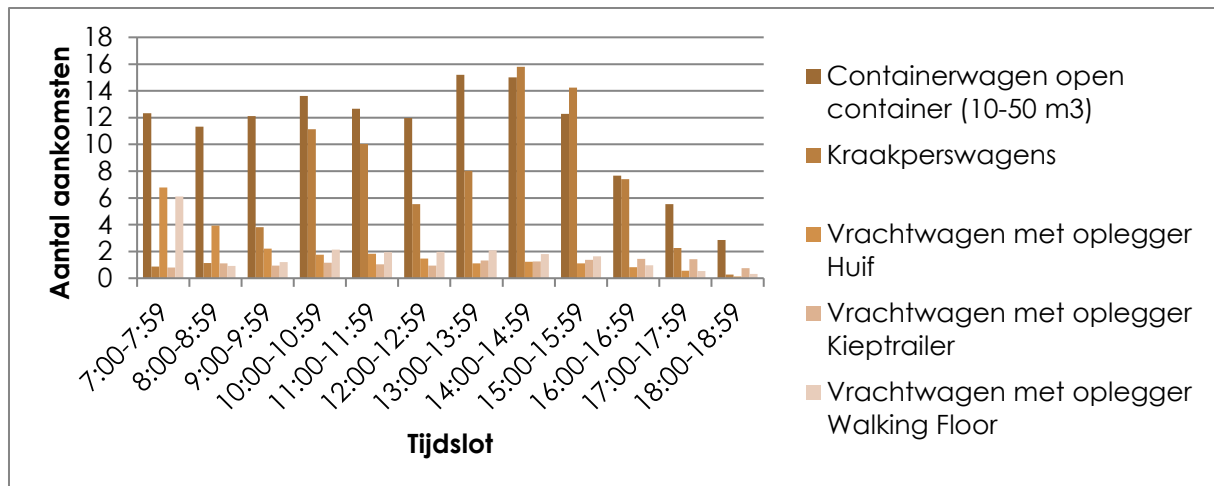
Figuur 4.1 Verdeling Aankomsten op een gemiddelde dag

4.1.1 EXTERNE AANVOER

De externe aanvoer wordt verdeeld aan de hand van de volgende parameters:

- Route. De volgorde van entiteiten en faciliteiten die een voertuig doorloopt van aankomst bij Twence tot het verlaten van het terrein;
- Tijdslot. Doordat er flinke verschillen zitten in de aankomsten afhankelijk het uur van de dag, is de dag opgedeeld in twaalf tijdsloten van een uur;
- Type Voertuig. De lostijd bij een entiteit hangt af van het soort voertuig.

Aan de hand van deze drie parameters kunnen de aankomsten bij Twence beschreven worden. Als input van het model is het aantal aankomsten van een bepaald type voertuig per uur per route van belang. In figuur 4.2 is een verdeling van het type voertuigen per uur te zien, waaruit duidelijk wordt dat er grote verschillen zijn op een dag. Wat opvalt is dat de kraakperswagens grote pieken vertonen. En dat de huifwagens 's ochtends veel aankomsten hebben en dat die naar mate de dag vordert steeds minder worden. Hieronder wordt beschreven hoe de gemiddelde aankomsten in bepaald zijn.



Figuur4.2 Verloop Aantal Aankomsten per Type Voertuig Tijdens de Dag

De verdelingen die verder in dit hoofdstuk aan bod komen zijn de verdelingen op een gemiddelde dag. In de simulatie worden de effecten van meer aankomsten onderzocht, zie hoofdstuk 6. De gemiddelde dag dient als basis voor de simulatie, waar één tot meerdere dagen gesimuleerd gaan worden.

De dag wordt begrensd door de openingstijden van Twence dat betekent dus dat alle aankomsten die buiten deze openingstijden vallen niet worden meegenomen in de analyse. Analoog aan het bovenstaande worden ook alle aankomsten op zaterdag niet meegenomen, omdat Twence dan normaal gesproken niet open is. Alle gemiddelden worden berekend over het totale aantal dagen, zonder de zaterdagen, dat Twence open was tussen 2 januari 2014 en 25 mei 2015, dat zijn 352 dagen. Dus voor het berekenen van bijvoorbeeld het gemiddelde aantal Huifwagens dat tussen 7:00 en 7:59 naar de AVI gaat, worden alle metingen in SAP van huifwagens op tijdsloot 7, met als entiteit AVI bij elkaar opgeteld en gedeeld door 352.

Met het gemiddelde aantal aankomsten per tijdseenheid kan de tijd tussen aankomsten voor een bepaalde entiteit per uur en per type voertuig worden berekend. De tijd tussen aankomsten is namelijk de inverse van het gemiddelde aantal aankomsten.

4.1.2 INTERNE RITTEN

Het gemiddelde aantal interne ritten tussen twee entiteiten op een bepaald uur van de dag wordt iets anders berekend dan de externe ritten. Deze wordt namelijk in twee stappen uitgerekend. De eerste stap is het gemiddelde aantal ritten dat van een bepaalde entiteit weggaat. Omdat SAP alleen data opslaat bij de Weegbruggen wordt de rit pas in het systeem gezet op het moment dat het voertuig wordt ingewogen bij WB5, dus is er geen informatie over de gemiddelde tijd die tussen twee interne afvoer ritten of over de laadtijden.

Wat wel bekend is, is de gemiddelde tijd tussen aankomsten bij de WB5, dit is namelijk de inverse van het gemiddelde aantal aankomsten bij WB5, deze kunnen in bijlage B gevonden worden.

De tweede stap is het bepalen van de kans dat een voertuig van een bepaalde entiteit gaat lossen bij een andere entiteit. De reden dat de aankomsten in twee stappen zijn verdeeld is dat deze verdeling makkelijker te modelleren is.

De interne ritten worden gereden door twee soorten voertuigen: opencontainers en tractors. De gemiddelden zijn per voertuig berekend, omdat deze onafhankelijk van elkaar opereren.

Het gemiddelde aantal interne aankomsten zijn in tegen stelling tot de externe aanvoer niet berekend over 352 dagen. Wanneer dit zou gebeuren zouden er nauwelijks interne ritten zijn. Dit zou een reden kunnen zijn om de interne ritten buiten de analyse te houden. De reden dat dit niet wordt gedaan is dat de interne ritten meer dan 20 procent van alle ritten op een dag beslaan. Dus wanneer de interne ritten niet meegerekend worden zal bijvoorbeeld de berekening van de verkeersintensiteit veel te laag uitvallen, omdat 89 voertuigen niet meegerekend worden. Daarnaast verbruiken deze voertuigen capaciteit bij de entiteiten en dragen dus ook bij aan eventuele wachtrijen. Dus om een goede representatie van het aantal interne ritten die er op een dag gereden worden, worden de gemiddelden berekend aan de hand van het aantal dagen dat een bepaalde rit gereden wordt.

4.1.3 EXTERNE AFVOER

Gemiddeld komt 8 procent van alle aankomsten bij de Weegbrug met als doel het afvoeren van grondstoffen. Dit zijn ongeveer 30 voertuigen per dag, wat neer komt op ongeveer 4 voertuigen per entiteit. Het gemiddelde aantal per entiteit wordt ook nog verdeeld over 12 verschillende uren en 6 verschillende soorten voertuigen, dat betekent dat het gemiddelde aantal aankomsten van een bepaald type voertuig per entiteit per uur tussen één en nul komt te liggen.

Daarnaast bestaat er geen data over de laadtijden en dit is door het lage aantal aankomsten per dag erg tijdsintensief om via een tijdstudie te verkrijgen. Het laden van grondstoffen gebeurt sowieso meestal op een andere plaats dan in de storthal van de entiteiten. Dus hebben ritten van de externe afvoer vooral effect op de afhandeling bij de Weegbrug en de capaciteit van de wegen. De laatste twee punten zijn goed te modelleren door te kijken hoe het terrein reageert op meer aankomsten. Om de hierboven genoemde redenen vormen de ritten voor de externe afvoer geen onderdeel van het onderzoeksmodel. Wel wordt er aan het einde bij de berekening van de effectieve capaciteit rekening gehouden met de externe ritten.

4.1.4 AANKOMSTEN CONTAINER WISSELPLAATS

De aankomsten voor de CWP wordt niet door SAP bijgehouden, dus is de verdeling op een andere manier gevonden. Samen met een medewerker van de Weegbrug is er naar een data gekeken die door de Weegbrug is verzameld en niet in SAP staat. Het voordeel van deze uitdraai is dat de contract nummers hier in opgeslagen worden, de reden waarom dit belangrijk is wordt zo duidelijk.

Allereerst is er aangenomen dat de wagens die naar de CWP gaan allemaal van het type Containerwagen Opencontainer (10-50m³) zijn en dat het gewicht van de voertuigen minstens 35 kiloton is. De voertuigen voor de CWP hebben namelijk twee containers bij zich en zijn dus beduidend zwaarder dan de overige voertuigen. Het enige andere voertuig dat ook boven de 35 kiloton zwaar kan zijn, zijn voertuigen met een zeecontainer als oplegger. Om de zeecontainers uit de dataset te halen is gebruik gemaakt van de contractnummers. De zeecontainers worden namelijk bijna alleen maar gebruikt door vervoerders uit Engeland en uit Duitsland, dus door de contractnummers van alle Engelse en Duitse leveranciers uit de dataset te verwijderen blijven de wagens die meerdere opleggers bij zich hebben over.

In tabel 4.1 staan de percentages voertuigen van de totale aankomsten per uur dat naar de CWP gaat. Uit de analyse is gebleken dat voor elke entiteit wel voertuigen naar de CWP gaan daarom kan de verdeling voor de CWP als een percentage van de totale voertuigstroom worden gebruikt in de simulatie. In de tabel is te zien dat grootste uitschieter naar boven gelijk aan het begin van de dag is en dat aan het eind van de dag de percentages afnemen, daartussen is er niet heel veel verschil in de percentages.

Alle aankomsten zijn nu bekend, dus kan er verder gegaan worden met het vinden van de procestijden.

Tabel 4.1 Verdeling Voertuigen voor CWP per Tijdslot

Tijdslot	Percentage CWP
7:00-7:59	45%
8:00-8:59	23%
9:00-9:59	21%
10:00-10:59	39%
11:00-11:59	34%
12:00-12:59	35%
13:00-13:59	29%
14:00-14:59	33%
15:00-15:59	23%
16:00-16:59	27%
17:00-17:59	18%
18:00-18:59	17%
totaal	36%

4.2 PROCESTIJDEN

De procestijden bij Twence bestaan uit de weegtijden, de lostijden en de eventuele tijd die nodig is voor het wisselen van opleggers. Geen van deze tijden wordt in SAP bijgehouden, dus moet de data ergens anders vandaan komen.

4.2.1 WEEGTIJDEN

Bij de weegburg zijn de gemiddelde weegtijden bekend, dit is door de medewerkers onderzocht, en deze hangt af van het type vrachtdocument dat een chauffeur bij zich heeft. In tabel 4.2 staan de gemiddelde tijden per soort vrachtdocument.

Tabel 4.2 Gemiddelde Weegtijd per type Vrachtdocument

Vrachtdocument	Tijd in minuten
Twence	1,5
Klant	2,0
EVOA	2,5

4.2.2 LOSTIJDEN

De lostijden hangen voor een groot gedeelte af van het type voertuig. Het type voertuig bepaald namelijk ook de afmetingen van het voertuig; alleen de opencontainers wisselen veel inhoud, tussen 10m³ en 50m³, de overige voertuigtypen die door SAP worden

onderscheiden zijn redelijk gelijk als het gaat om inhoud. De entiteiten zelf zullen geen groot effect hebben op de lostijd want het lossen is overal hetzelfde, wanneer ervan wordt uitgegaan dat er altijd voldoende ruimte is op de stortvloer, zie hoofdstuk 2, het aanmelden is overal hetzelfde en uit observaties blijkt dit verwaarloosbaar te zijn. In gesprekken met medewerkers van Twence gaven zij ook aan dat het type materiaal dat een voertuig bij zich heeft ook geen hele grote rol speelt op de lostijden.

Om de lostijden te achterhalen is er een tijdstudie op het terrein uitgevoerd. Een tijdstudie is een onderzoek naar de duur van een actie of fenomeen, door deze te observeren en te klokken.

Tijdstudie

De tijdstudie is bij de AEC en BEC uitgevoerd op drie verschillende momenten. Twee keer bij de AEC tussen 7:00 uur en 8:30 uur en tussen 14:00 uur en 15:00 uur. Eén keer bij de BEC tussen 7:30 uur en 9:00 uur. De tijden zijn gekozen omdat dit tot de drukste uren behoren waardoor er zoveel mogelijk aankomsten waren. Daarnaast zorgden deze uren voor een goede kans op meerdere voertuigen van elk type te kunnen meten. Het nadeel van de tijdstudie is dat de aankomsten niet gegarandeerd zijn en dat het veel tijd kost, daarentegen is het waarschijnlijk nauwkeuriger dan het bewerken van data uit SAP.

De studie is als volgt uitgevoerd. De onderzoeker is op een plek gaan zitten waar er goed uitzicht was op de aankomsten, zonder het proces in de weg te zitten. Bij de AEC en BEC was dit de controle kamer. Bij de BEC werd de klok gestart op het moment dat het voertuig de hal binnenreed, bij de AEC was dit niet het geval omdat er bij de AEC voertuigen binnen kunnen wachten. Dus om de wachttijd uit te bannen werd bij de AEC de klok gestart op het moment dat het voertuig stilstond bij het stortgat. Om ervoor te zorgen dat er meerdere voertuigen tegelijk gemeten konden worden zijn de tijden bijgehouden op een digitale klok, dus zijn in minuten omdat seconden niet nauwkeurig genoeg gemeten konden worden.

Tabel 4.3 resultaten metingen procestijden per type voertuig

voertuig	gem proc tijd	SD proc tijd	VAR proc tijd	cv	cv^2	CI wijdte	bovengrens	ondergrens
Containerwagen open container (10- 50 m3)	06:36,0	02:00,6	14551,58	0,30	0,09	00:56,5	07:32,5	05:39,5
Kraakperswagens	07:00,0	06:08,6	135860,87	0,88	0,77	02:35,7	09:35,7	04:24,3
tractor	06:44,8	04:18,9	67007,91	0,64	0,41	02:08,7	08:53,6	04:36,1
Vrachtwagen met oplegger Huif	23:33,3	08:35,4	265600,00	0,36	0,13	06:28,6	30:01,9	17:04,7
Vrachtwagen met oplegger Kieptrailer	08:17,1	03:35,0	46206,59	0,43	0,19	02:04,1	10:21,2	06:13,1
Vrachtwagen met oplegger Walking Floor	12:49,1	06:10,3	137115,99	0,48	0,23	03:04,2	15:53,3	09:45,0

Er zijn 111 verschillende voertuigen gemeten. In bijlage C staan de metingen. De resultaten staan in tabel 4.3. Uit de resultaten valt op te maken dat de Huifwagens veel langer nodig hebben dan alle andere voertuigen. De Walking Floors zijn tweede als het gaat om tijdsduur en de overige voertuigen staan vrij dicht bij elkaar. Bij de metingen van de Kraakperswagens zat één uitschieter van 34 minuten die is uit de dataset weggenomen. Het lage variatie coëfficiënt (VC) bij de kraakwagens is een aanwijzing dat de keuze om de verschillende type kraakwagens bij elkaar te nemen gerechtvaardigd is. Het lage VC van de Containerwagens valt ook op, vooral omdat de inhoud van deze voertuigen nogal variabel is, zie 4.3. De lage VC kan verklaard worden doordat tijdens de metingen relatief veel Containerwagens voor interne ritten aankwamen en deze hebben gelijksoortige afmetingen.

4.2.3 PROCESTIJD CONTAINER WISSELPLAATS

Om de gemiddelde procestijden bij de CWP te vinden is net als bij de lostijden in de paragraaf hierboven een tijdstudie uitgevoerd. De tijdstudie is op drie verschillende momenten op twee verschillende dagen uitgevoerd. De tijdstippen waren tussen 7:30 uur en 8:30 uur, tussen 11:00 uur en 12:00 uur en tussen 14:00 uur en 15:00 uur. Dit zijn de drukste uren bij Twence en dus is de kans op deze momenten het groots om zoveel mogelijk voertuigen te kunnen meten.

In totaal zijn er 36 metingen gedaan verdeeld over de drie processtappen van de CWP. Er zijn 16 unieke voertuigen gemeten, waarvan er vier met de derde stap begonnen toen de meting begon en één voertuig had de eerste stap afgerond op het moment dat de meting stopte. De gemiddelde tijdsduur van de drie stappen staan in tabel 4.4. De gemiddelde totale tijdsduur die een voertuig bij de CWP doorbrengt is 16 minuten. Bij Twence wordt aangehouden dat voertuigen ongeveer 20 minuten kwijt zijn aan de CWP. Wanneer er rekening gehouden wordt met de reistijd lijken de gevonden waarde aannemelijk.

Tabel 4.4 Resultaten Tijdstudie Container Wisselplaats

stap	aantal metingen	gemiddelde	standaard deviatie	variatie coëfficiënt
1	11	00:04:00	00:02:00	0.50
2	10	00:05:00	00:03:00	0.60
3	15	00:07:00	00:03:00	0.43

4.3 MAXIMALE CAPACITEIT ZONDER VARIABILITEIT

Zoals in hoofdstuk 3 te lezen is, wordt de theoretische capaciteit omschreven als de capaciteit in de best mogelijke omstandigheden en met de volledig inzet van alle in een organisatie aanwezige hulpmiddelen, dus geen productieverlies door pauzes, stops, etc. waar mogelijk aangevuld met overwerk en inzet van bijvoorbeeld extra machines. Als er wordt aangenomen dat er geen variabiliteit in het systeem voor komt, dan ontstaan er geen wachtrijen en wordt de capaciteit bepaald door de procestijden.

De procestijden worden zoals in paragraaf 4.2 aangegeven door de voertuigen bepaald en niet per entiteit. Dus de procestijden bij de verschillende stappen hangen af van de verdeling van voertuigen. De absoluut maximale capaciteit per entiteit wordt gehaald als er naar alle entiteiten alleen maar kraakperswagens gaan. Dit is niet realistisch. Allereerst worden de individuele stappen van de route beoordeeld om daarna middels wat aannames een oordeel over de maximale capaciteit van het terrein te geven.

4.3.1 CAPACITEIT ENTITEITEN EN WEEGBRUG

Het probleem met de procestijden wordt makkelijker als alle voertuigen worden samen genomen in één voertuig met een gemiddelde lostijd. De lostijd van het nieuwe voertuig wordt bepaald door het gewogen gemiddelde van alle voertuigen bij een entiteit te nemen. Dit kan eveneens voor de Weegbrug worden gedaan. De CWP wordt buiten beschouwing gelaten.

Doordat de verdeling van de aankomsten voor sommige entiteiten veel veranderd van uur tot uur, wordt de procestijd eerst voor alle uren afzonderlijk berekend. Om een volledig beeld van de capaciteit te geven staat in bijlage D de minimale theoretische en maximale theoretische capaciteit. De waarde zijn gevonden door de één uur te delen door de kleinste procestijd (max. capaciteit) en door de grootste procestijd (min. capaciteit).

In bijlage D staat de capaciteit van de Hoofdas, later in deze paragraaf wordt deze afgeleid. De capaciteiten in bijlage D zijn de individuele capaciteiten van de entiteiten, maar dat zegt nog niet zoveel. Veel interessanter dan de capaciteit per entiteit en faciliteit is de capaciteit per route de mogelijk routes staan in tabel 4.5.

Tabel 4.5 Routes					
Naam	Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 4	Stap 5
AVI Route	WB 1 en 2	Hoofdas	AVI	Terugweg	WB 3 en 4
BEC Route	WB 1 en 2	Hoofdas/overig	BEC	Overig/Terugweg	WB 3 en 4
GFT Route	WB 1 en 2	Hoofdas/overig	TAS	Overig/Terugweg	WB 3 en 4
HOU Route	WB 1 en 2	Hoofdas/overig	HOU	Overig/Terugweg	WB 3 en 4
STO Route	WB 1 en 2	Hoofdas/overig	STO	Overig/Terugweg	WB 3 en 4
TAS Route	WB 1 en 2	Hoofdas	TAS	Hoofdas/Terugweg	WB 3 en 4
VL3 Route	WB 1 en 2	Hoofdas	VL3	Terugweg	WB 3 en 4
Huif Route	WB 1 en 2	Hoofdas	Kraan AEC	Terugweg	WB 3 en 4

De routes gegeven in tabel 4.5 beginnen allemaal met een aankomst bij de Weegbrug, vervolgens moeten de voertuigen naar de bestemmingsentiteit rijden dit gebeurt in alle gevallen via de Hoofdas. Na de Hoofdas zijn er entiteiten waarvoor de voertuigen verder moeten rijden dit wordt aangegeven met overig. Wanneer de voertuigen gelost zijn bij de desbetreffende entiteit rijden ze via de eventuele overige wegen achter de Kruising en de Terugweg achter de TAS naar de Weegbrug waar ze uitgewogen worden en het terrein verlaten.

Voertuigen die langs de CWP gaan hebben een andere route, deze staat in tabel 4.6, de weg die gereden moet worden is in deze tabel wegelaten, maar tussen elke stap moet het voertuig naar de volgende toe rijden. Routes worden bepaald aan de hand van de entiteit. Voertuigen voor de CWP zijn niet gebonden aan één entiteit. Daarom is de CWP geen eigen route en wordt bij de berekeningen in deze paragraaf niet meegenomen. De voertuigen voor de CWP worden wel meegenomen in de simulatie.

Tabel 4.6 Route CWP						
Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 4	Stap 5	Stap 6	Stap 7
WB 1 en 2	CWP	Entiteit	CWP	Entiteit	CWP	WB 3 en 4

4.3.2 CAPACITEIT TERREIN

In hoofdstuk 3 staat beschreven hoe de capaciteit van meerdere elkaar opvolgende productiestappen wordt bepaald door de benutting van die stappen. De stap met de hoogste benutting is de bottleneck en de doorzet van de bottleneck is de capaciteit van het systeem.

Benutting b wordt bepaald door het gemiddelde aantal aankomsten per uur r_a , de gemiddelde procestijd t_e en het aantal stortgaten/weegbruggen m per entiteit:

$$b = \frac{r_a t_e}{m}$$

De benutting per entiteit en faciliteit staat in bijlage E.

Tijdens de meeste uren is WB 1 en 2 de bottleneck en voor de uren dat WB 1 en 2 dat niet is, is WB 3 en 4 dat, waarvan het aantal aankomsten per uur hetzelfde is al bij WB 1 en 2.

Noemenswaardig is dat voor de BEC Route tussen 7:00 en 7:59 de BEC bijna de bottleneck is, dit komt door de relatief grote hoeveelheid Walking Floors dat rond die tijd bij de BEC aankomt. Voor de Huifwagens is de benutting op een aantal tijden boven de 100 procent dit komt, doordat het aantal aankomsten per uur groter is dan het aantal huifwagens dat gelost kan worden per uur op deze tijden. Het maximale aantal huifwagens dat per uur gelost kan worden is 2,5 voertuigen (lostijd is 24 minuten) en het gemiddelde aantal aankomsten tussen 7:00 en 7:59 is 3 (naar beneden afgerond).

Het maximaal aantal voertuigen dat het terrein op kan ligt tussen de 60 en 71 voertuigen, deze kunnen echter niet allemaal naar dezelfde entiteit, voor een verdeling van de voertuigen over de entiteiten moet er rekening gehouden worden met de maximale waarde in bijlage D. Er zijn meerder oplossingen die aan de voorwaarden voldoen. Een voorbeeld van een verdeling staat in tabel 4.7.

tabel 4.7 Verdeling maximaal aantal aankomsten per Route tussen 14:00 en 14:59	
AVI	19
BEC	4
GFT	15
HOU	4
STO	4
TAS	6
VL3	7
Huif	1

4.3.3 WEGCAPACITEIT

In de vorige paragraaf is het al ter sprake gekomen; de wegcapaciteit. In deze paragraaf zal de wegcapaciteit worden afgeleid voor een situatie waarin een stabiele stroom is bereikt. In hoofdstuk 3 staat beschreven dat vanuit macroscopisch perspectief een verkeerstroom met een stabiele constante gemiddelde snelheid u beweegt. De constante snelheid wordt bereikt wanneer de acceleratie a gelijk is aan 0. De constante snelheid heeft ook tot gevolg dat de afstand tussen voertuigen $s_e(v)$ constant is. Met deze u en a kunnen de volgende formules voor de snelheids afkankelijke afstand tussen voertuigen worden afgeleid:

$$s_e(v) = s^*(v, 0) \left[1 - \left(\frac{v}{v_0} \right)^\delta \right]^{-\frac{1}{2}}$$

Met:

$$s^*(v, 0) = s' + vT$$

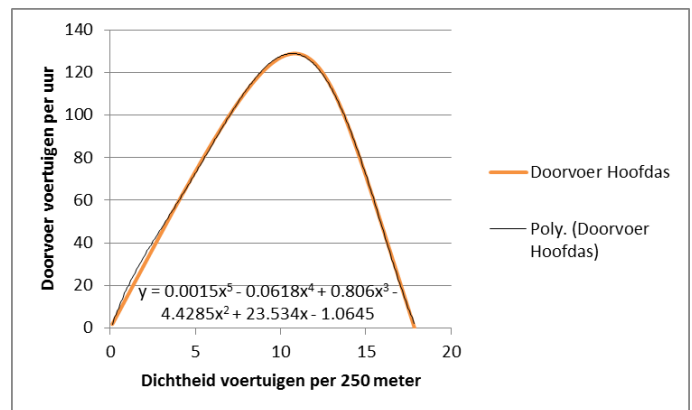
Door als vrije snelheid v_0 de snelheidslimiet 15 km/u te nemen en de formule voor alle mogelijke snelheden tussen 0 km/u en 15 km/u op te lossen (is gebeurd met stappen van 0,1 km/u). De uitkomsten hiervan worden gecombineerd met de volgende gelijkheid:

$$s = \frac{1}{k} - l = \frac{1}{k} - \frac{1}{k_j}$$

Die kan worden omgeschreven tot:

$$k = \frac{1}{s + l}$$

Voor s wordt $s_e(v)$ van de vorige formule genomen en l is de lengte van de voertuigen die zijn gemiddeld 12 meter lang. Met behulp van deze formules kan een fundamentele diagram worden gemaakt, zie figuur 4.3. De zwarte lijn door de formule is een benadering van de gevonden diagram, de bijbehorende formule staat in ook in de figuur. Door de formule van de benadering te differentiëren en op te lossen voor $y' = 0$ kan de maximale doorzet gevonden worden en de daar bijbehorende dichtheid. De maximale doorzet is ongeveer 128 voertuigen per uur, dit is dus de capaciteit van de weg. De bijbehorende dichtheid is 11 voertuigen per 250 meter, dus er kunnen 11 voertuigen tegelijk op de weg. De snelheid die voertuigen gemiddeld rijden bij de capaciteit is ongeveer 12 km/u.



Figuur 4.3 Fundamentele diagram Hoofdas

De benutting van de Hoofdas kan berekend worden door de reistijd die nodig is om de weg af te leggen te vermenigvuldigen met het aantal aankomsten per uur en dit te delen door de capaciteitsdichtheid van de Hoofdas. De benutting van de Hoofdas staat in bijlage E.

Er moet bij de bovenstaande berekeningen de opmerking worden geplaatst dat hier geen rekening gehouden is met voertuigen die naar de TAS afslaan. De weg is als een éénbaansweg zonder afslagen gemodelleerd. Dat de waarde toch toepasbaar zijn komt doordat de voertuigen van de TAS de Hoofdas wel helemaal afleggen maar niet in één keer. Ze rijden een stuk van de Hoofdas naar de TAS toe en wanneer ze klaar zijn rijden ze de rest naar de uitgang. Het tijdsverlies voor het afremmen is ook verwaarloosbaar, want de benutting van de Hoofdas is zo laag dat andere voertuigen hier waarschijnlijk weinig last van hebben.

4.4 DOORLOOPTIJDEN

De netto tijden van alle voertuigen die het terrein opkomen worden in SAP opgeslagen. De netto tijden worden gevonden door de vertrektijd van de aankomsttijd af te trekken. Deze tijden worden in SAP opgeslagen op het moment dat een voertuig is gewogen, dit is na alle administratieve handelingen bij de Weegbrug. Dus de aankomsttijd kan beschouwd worden als het moment dat een voertuig het terrein op rijdt en de vertrektijd het moment dat een voertuig het terrein verlaat. De netto tijden kunnen dus als de doorlooptijd van voertuigen op het terrein worden beschouwd.

In bijlage F staan de gemiddelde doorlooptijden van de externe aanvoer per route. Twee dingen vallen op:

- Het grote verschil tussen gemiddelde en mediaan bij de meeste Routes; en
- Dat de BEC de Route is die de grootste doorlooptijd heeft.

Dit zijn fenomenen die met behulp van simulatie onderzocht kunnen worden. De doorlooptijden dienen ook als controle voor de uitkomsten van de simulatie.

4.4.1 PRODUCTIEVE EN NIET-PRODUCTIEVE TIJD

Doorlooptijden alleen vertellen niet het volledige verhaal, het kan namelijk zo zijn dat er bij de BEC veel voertuigen aankomen die een lange lostijd hebben waardoor er niets aan de lange doorlooptijd te doen is. Belangrijker dan de doorlooptijd zelf is de tijd die voertuigen te lang op het terrein doorbrengen. Om het tijdverlies te vinden moet er een onderscheid gemaakt worden tussen productieve tijd en niet-productieve tijd.

Niet-productieve tijd wordt in dit onderzoek niet gezien zoals bij de lean manufacturing filosofie, waar tijd dat een product stilstaat wordt beschouwd als een verspilling en volledig moet worden uitgebannen. Zoals in hoofdstuk 3 is aangegeven kan wachttijd bijvoorbeeld ook een productiesysteem verbeteren door ervoor te zorgen dat de bottleneck nooit zonder werk komt te zitten. Niet-productieve tijd is wel een goede indicatie van de routes die slecht presteren.

De verschillende componenten van doorlooptijd bij Twence zijn:

$$\text{Doorlooptijd} = \text{weegtijd} + \text{reistijd} + \text{lostijd} + \text{wisseltijd} + \text{wachttijd}$$

Uit de bovenstaande onderverdeling valt op te maken dat de enige tijd die niet direct een gevolg is van een productie stap, wachttijd is. Reistijd is strikt gezien ook geen onderdeel van een productiestap, maar omdat het voor Twence onmogelijk is om de lay-out van het terrein rigoureus te veranderen wordt deze als productieve tijd gezien, in ieder geval zijn de voertuigen in beweging tijdens het reizen.

Productieve tijd

Zoals aan het begin van deze paragraaf is genoemd wordt het meten van de doorlooptijden pas gestart nadat de voertuigen zijn ingewogen, dit betekent dat de weegtijd tijdens het oprijden van het terrein geen onderdeel uitmaakt van de doorlooptijd en dus ook niet van de productieve tijd. Uitwegen hoort daar dan weer wel bij. De productieve tijd wordt dan:

$$\text{productieve tijd} = \text{reistijd} + \text{lostijd} + \text{wisseltijd} + \text{uitweegtijd}$$

Niet-productieve tijd

Bestaat volledig uit wachttijden. Omdat inwegen niet mee wordt genomen in de doorlooptijd vallen de wachttijden voor de ingaande weegbrug buiten de niet-productieve tijd. De niet-productieve tijd bestaat dus uit wachttijd bij de entiteit, wachttijd bij de CWP, wachttijd voor de kruising en wachttijd voor de uitgaande weegbrug.

De niet-productieve tijd is in veel productiesystemen een groter onderdeel van de doorlooptijd dan de productieve tijd, zie ook onderzoek van Buzacott et al. (1994) en Suri (2010). Maar wachttijden zijn niet de enige plek waar tijd verloren wordt, dit gebeurt ook als het productieve tijd door inefficiënties langer duurt dan zou moeten. Om de efficiënties in de productiestappen te vinden wordt de verwachte productie tijd bepaald.

Verwachte Productietijd

De verwachte productietijd (raw production time) is de tijd die een voertuig dat volgens het productieproces doorloopt zonder last te hebben van andere voertuigen en variabiliteit tijdens de processen. Wanneer alle tijden van de productieve tijd volgens het verwachte gemiddelde presteren dan is dat de verwachte productietijd. Een voorbeeld van de verwachte los-, uitweeg-, reis-, en wisseltijden staat hieronder in figuur 4.4.

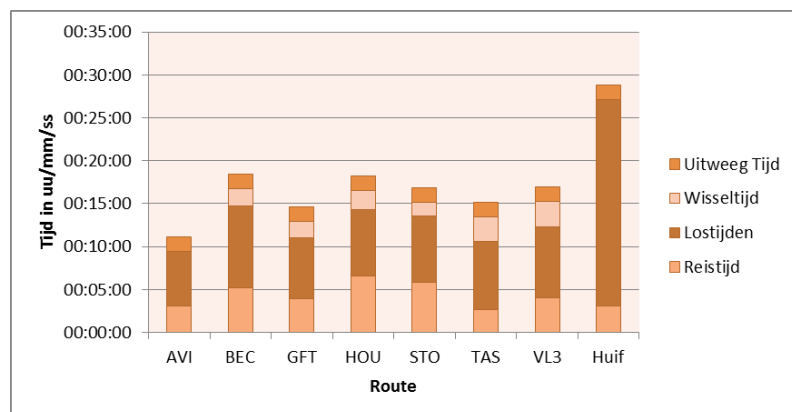
In tegenstelling tot de vorige paragrafen is in de verwachte productietijd wel rekening gehouden met de voertuigen die naar de CWP gaan. De voertuigen voor de CWP zitten namelijk wel in de gemeten doorlooptijden. Doordat het proces met de CWP erbij veel langer duurt dan een normaal proces, een voertuig moet bijvoorbeeld twee keer lossen, zou er een vertekend beeld ontstaan wanneer ze niet meegenomen worden. In figuur 4.4 zijn de voertuigen voor de CWP op verwekt in de gemiddelde proces- en reistijden voor de routes en er de wisseltijd is te zien.

Door de verwachte productietijd van de doorlooptijd af te trekken kan het tijdsverlies, dat bestaat uit wachttijden en processen die te lang duren, worden gevonden.

4.4.2 VERLOREN TIJD

Het verschil tussen de doorlooptijd en de verwachte tijd is de verloren tijd. In bijlage G staan de doorlooptijden per uur per route. In bijlage G is te vinden welke uren de langste doorlooptijden hebben, wat opvalt is dat dit tussen zeven en acht uur is. Daarnaast is er erg veel verschil tussen verschillende uren vooral bij de Huifwagens waar de minimale en maximale doorlooptijd meer dan een uur uit elkaar liggen.

De verloren tijd per route is in bijlage H terug te vinden. Allereerst een opmerking over de negatieve getallen in de tabel, dit zijn het aantal seconden dat de gemiddelde doorlooptijd



Figuur 4.4 Verwachte Productietijd tussen 14:00 en 14:59 uur Verdeel in Procestijden

uit SAP tijdens die uren lager was dan de verwachte productietijd. De momenten waarop de verloren tijd negatief is komen allemaal voor tijdens de rustige uren, wanneer er verwacht mag worden dat er geen wachttijden voorkomen. Omdat er met gemiddelden lostijden wordt gewerkt waarvan standaard deviatie maximaal negen minuten is zijn verschillen vallen verschillen van de doorlooptijd plus en min negen minuten nog binnen de acceptabele grens. Uitgaande van de negen minuten grens doen de Routes AVI, GFT, TAS en VL3 het goed. Tussen 7:00 en 7:59 uur scoren alle Routes slecht en leiden de meeste Routes het grootste verlies. De Routes BEC, HOU en STO gaan bijna alle uren over de grenswaarde heen en de Huifwagens voor de AEC doen dit zelfs met een erg ruime mate.

Oorzaak Verloren Tijd

Op zoek naar een verklaring voor de verschillen moet zoals in hoofdstuk 3 opgemerkt gekeken worden naar de variabiliteit in het proces en aankomsten. Variabiliteit in de procestijden wordt veroorzaakt door de voertuigen. Het kan dat de slecht presterende routes naar verhouding veel voertuigen met een zeer variabele lostijd moeten verwerken. Bij de BEC bijvoorbeeld zijn tussen 20 en 40 procent van de aankomsten Walking Floors (voertuigen met het hoogste vc), maar voor de HOU, STO en Huif gaat dit niet op. De HOU en STO verwerken bijna alleen maar Containerwagens en die hebben een zeer laag vc , zie ook paragraaf 4.2.2. Sowieso vallen de vc van alle voertuigen in de klasse lage variabiliteit ($vc < 0,75$).

In hoofdstuk 3 staat dat de hoeveelheid variabiliteit die door de variatie in aankomsten en procestijden wordt uitvergroot of verkleind door de benutting. Hopp en Spearman (1995) geven de volgende formule voor variabiliteit tussen productiestappen:

$$vc_d^2 = b^2 vc_e^2 + (1 - b^2) vc_a^2$$

Deze formule geeft aan dat de variabiliteit, gegeven door het vc , na een processtap vc_d grotendeels door de variabiliteit van de productietijd vc_e wordt bepaald als de benutting b hoog is en de variabiliteit in de aankomsten vc_a heeft een groter aandeel wanneer de benutting laag is. In bijlage E in paragraaf 4.3.1 is te zien dat met uitzondering van de Huifwagens (de benutting is hier boven de 100 procent waardoor de grote verliezen te verklaren zijn, de entiteit kan het aanbod niet aan) de benutting bij de entiteiten erg laag is.

Dus de verloren tijd wordt grotendeels door de variabiliteit in de aankomsten veroorzaakt. Hiermee kan ook verklaard worden dat tussen 7:00 en 7:59 uur de meeste tijd verloren wordt. Ondanks dat er tussen 7:00 en 7:59 uur niet de meeste aankomsten komen zijn deze wel het meest variabel, door het grote aantal buitenlandse vrachten dat dan aankomt en door de wachtrij die zich voor opening al heeft gevormd.

4.5 CONCLUSIES

In dit hoofdstuk zijn twee belangrijke input variabelen beschreven, namelijk de aankomsten en de procestijden, het is namelijk de variabiliteit in deze twee variabelen die samen met de benutting bepalen wat de variabiliteit bij elke processtap is en waar er wachtrijen ontstaan.

De aankomsten zijn beschreven aan de hand van het gemiddelde aantal type voertuig dat tijdens een bepaald tijdslot naar een bepaalde entiteit wil, voor de externe aankomsten. En voor de interne ritten is een aankomst het gemiddelde aantal type voertuigen dat van een

bepaalde entiteit komt en naar een bepaalde entiteit wil tijdens een bepaald uur. De laatste type aankomst is externe afvoer, maar dit is zo erg uitgesmeerd over de verschillende entiteiten dat de impact te verwaarlozen is en niet als aparte input wordt meegenomen in het simulatie onderzoek.

Door een gebrek aan informatie van Twence zijn de procestijden bepaald aan de hand van observaties in het veld. Op deze manier zijn de lostijden en de wisseltijden bepaald. Over de weegtijden was wel informatie beschikbaar.

De theoretische capaciteit van het terrein is bepaald, door alle afzonderlijke capaciteiten van de entiteiten en faciliteiten te bepalen. Met behulp van de benutting is de Weegbrug als bottleneck gevonden, wat betekent dat maximale capaciteit bij afwezigheid van variabiliteit tussen de 60 en 71 voertuigen per uur ligt.

Als laatst zijn is de tijd die door variabiliteit verloren wordt gevonden, waar het aankomstproces een grote invloed op heeft.

In het volgende hoofdstuk wordt het simulatiemodel beschreven.

HOOFDSTUK 5 SIMULATIE

Nu de huidige situatie is beschreven, de inputs bekend zijn en de theoretische capaciteit en verloren tijd berekend zijn kan het simulatie model worden opgesteld. Het doel van dit model is tweeledig: Allereerst dient het model om inzicht te krijgen in de capaciteit en doorlooptijd van de huidige lay-out bij Twence. Hierbij hoort ook het vinden van inputs die nog niet bekend zijn bij Twence, voor verdere analyse. Het tweede doel is de mogelijke verbeteringen voor de doorlooptijd te testen.

De simulatie op de juiste manier ingericht worden en dat begint met het concept model, deze wordt in paragraaf 5.1 beschreven. Aan de hand van het concept model is er een simulatie model gebouwd, de beschrijving daarvan staat in paragraaf 5.2. Vervolgens wordt in paragraaf 5.3 de opzet van de simulatie met betrekking tot de stochastische processen, simulatiedagen per run en het aantal runs besproken. In paragraaf 5.4 wordt het werkende simulatiemodel geverifieerd en gevalideerd. Waarna in paragraaf 5.5 de experimenten worden beschreven. Als laatste geeft paragraaf 5.6 een overzicht van dit hoofdstuk.

5.1 CONCEPT MODEL

Volgens Law (2005) is het doel van een concept model om fouten in het ontwerpproces te voorkomen en om acceptatie te verhogen. Om zijn doel te bereiken bestaat het concept model uit een overzichtelijke beschrijving van alle aannames, concepten, inputs en formules die in de simulatie worden gebruikt. Het concept model is de eerste stap in het validatieproces (Law, 2005).

De indeling van het concept model is als volgt: allereerst wordt het doel van de simulatie geformuleerd; daarna worden de prestatie indicatoren die gebruikt worden voor de analyse geformuleerd; als derde wordt een stroommodel van het proces gegeven; als vierde volgt een beschrijven van alle subsystemen; en als laatste worden de belangrijkste aannames worden behandeld (Law, 2005).

5.1.1 DOEL VAN DE SIMULATIE

Het doel van de simulatie bestaat uit twee delen:

1. Het bepalen van de capaciteit van de hoofdas; en
2. Analyseren van het concept model van Ergo Design.

Om het eerste doel te bereiken bepaald de simulatie vier belangrijke variabele namelijk: de aankomsten bij de verschillende entiteiten per uur; de lengte en hoeveelheid voertuigen die gemiddeld in de wachtrij staan voor een bepaalde entiteit; en de utilisatie van de entiteiten bepalen. De waarden van de variabele die met behulp van de simulatie gevonden worden, dienen als input voor de formules voor de capaciteit van de kruising en voor het bepalen van de 'practical worst-case'.

Voor de analyse van het concept van Ergo Design dient de simulatie vooral als een manier om te beoordelen of het concept voldoende verbetering biedt om de investering te kunnen rechtvaardigen. Om een goede vergelijking tussen de huidige lay-out en die voorgesteld door Ergo Design te maken is het belangrijk om te bepalen over welke variabele deze

vergelijking wordt gemaakt en deze goed te formuleren. De vergelijkingsvariabele worden prestatie indicatoren (PI) genoemd en worden in het volgende stuk uitgewerkt

5.1.2 PRESTATIE INDICATOREN

In dit stuk staat een uitwerking van de belangrijkste prestatie indicatoren die worden gebruikt om doel 1 en 2 van het simulatie onderzoek te behalen. Omdat er verschillen zitten tussen de aankomsten en samenstelling van voertuigen op verschillende uren, worden alle PIs per uur berekend en met elkaar vergeleken. Ook wordt er een onderscheid gemaakt tussen de verschillende routes.

Gemiddelde Doorlooptijd

Dit is de tijd die een voertuig er over doet om zijn route van weegbrug tot weegbrug te voltooien. Het is niet alleen belangrijk dat deze waarden binnen te accepteren normen blijft liggen, maar het is ook de enige output variabele die direct gevalideerd kan worden met historische data. Door de gevonden doorlooptijden te vergelijken met de werkelijke doorlooptijden kan er bepaald worden of het model de werkelijkheid goed genoeg benaderd.

Gemiddelde wachttijd per entiteit

Tijd die een voertuig moet wachten voordat het naar het desbetreffende station kan. Deze maat is belangrijk omdat de tijd die een voertuig op het terrein doorbrengt geoptimaliseerd moet worden. Dit is niet alleen voor de efficiëntie van het proces van belang, maar ook voor de klant is dit handig want die wil natuurlijk dat zijn voertuigen zo kort mogelijk bij Twence zijn.

Gemiddelde Lengte wachtrij

Heeft een correlatie met de wachttijd, immers als er meer voertuigen staan te wachten is de kans groot dat de wachttijd ook langer is dan wanneer er minder voertuigen staan te wachten. Hierdoor kan het lijken dat deze prestatie indicator overbodig is, maar doordat niet alle wachtrijen oneindig lang kunnen zijn, is het belangrijk om de lengte van deze wachtrijen in de gaten te houden.

Benutting

Wordt per entiteit berekend en is het gedeelte van de tijd dat een werkplek geen tekort heeft aan werk (Hopp & Spearman, 1995). De benutting wordt als percentage van de totale beschikbare tijd per entiteit berekend. Bij Twence wordt deze PI aangeduid als bezettingstijd van een entiteit.

Naast dat de benutting een belangrijke indicator is voor hoe efficiënt de aanwezige capaciteit wordt gebruikt, is het ook een indicator van de bottleneck in een route. De systeemstap met de hoogste benutting is namelijk de bottleneck (Hopp & Spearman, 1995).

Aantal aankomsten per uur

Geen PI in zichzelf, maar wel een belangrijke output waarde voor de verdere analyse zijn de aankomsten per uur van de verschillende entiteiten. Onder entiteiten vallen in dit geval ook de verschillende wegdelen, de kruising en de CWP.

5.1.3 STROOMSCHEMA SIMULATIE MODEL

Het simulatie model heeft vier functies die worden uitgevoerd:

1. De aankomsten genereren en parameters aan de transporters meegeven;
2. De procestijden bij de entiteiten simuleren;
3. De transporters via de juiste route door het systeem sturen;
4. Data opslaan van alle belangrijke stappen.

De eerste twee functies worden in de volgende paragraaf behandeld, die gaat over de werking van de subsystemen. Functie 4 komt ook in de volgende paragraaf aanbod. In deze paragraaf gaat het over de methode waarop de transporters door het systeem worden geleid.

Transporters worden in paragraaf 5.1.4 verder uitgewerkt, maar op dit moment is het belangrijk te weten dat de transporters in de simulatie overeenkomen met de voertuigen in de realiteit.

In deze paragraaf zijn drie schema's te zien zijn. Het eerste schema, figuur 5.1, beschrijft de routing van externe aankomsten; dit betreft de aankomsten van derde partijen en geldt voor zowel aanvoer als afvoer. Het tweede schema, figuur 5.2, beschrijft de interne afvoer, dat wil zeggen alle ritten die bij een entiteit op het terrein van Twence beginnen. Het verschil tussen deze twee routes is dat extern vervoer een duidelijk begin en eindpunt heeft en intern vervoer heeft dat niet.

Extern vervoer komt aan bij de weegbrug, gaat daarna naar de desbetreffende entiteit en als het voertuig daar klaar is rijdt het weer richting de weegbrug, waar het voertuig het terrein verlaat. Intern vervoer daarentegen gaat nadat het klaar is door naar een volgende entiteit om volgeladen te worden en via de interne weegbrug naar de entiteit van bestemming.

Het derde figuur (5.3) laat de werking van de weegbrug en parkeerplaats zien in het concept model van Ergo Design.

Uitleg stroomschema's

De twee figuren lezen als volgt: De ovalen in de schema's stellen het begin en eind van het proces voor. In figuur 5.1 begint met de creatie van een aankomend voertuig en eindigt met hetzelfde voertuig dat het terrein verlaat. Na het verlaten wordt een extern voertuig uit het systeem verwijderd nadat alle belangrijke informatie over het voertuig is opgeslagen. In figuur 5.2 begint het systeem met de creatie van een aankomst bij WB5. In de realiteit rijden er een vast aantal voertuigen op een dag rond, maar het is makkelijker om elke rit die een voertuig intern aflegt als unieke aankomst bij de WB5 te simuleren. De keuze voor WB5 is ook genomen omdat er geen informatie is over de aankomsten en laadtijden van de voertuigen bij de entiteit waar de lading vandaan komt, dit komt doordat SAP pas een rit opslaat als het bij een weegbrug aankomt. In totaal rijden er maximaal vier containerwagens en vier tractors rond.

De rechthoekige figuren in de schema's stellen systeem-entiteiten (niet te verwarren met entiteiten op het terrein, in het model zijn terrein-entiteiten niet de enige entiteiten, maar bijvoorbeeld de weg en weegbruggen zijn dat ook, deze worden verder systeem-entiteiten genoemd) voor hier wordt een handeling of set van handelingen uitgevoerd. Bijvoorbeeld bij de systeem-entiteit Weegbrug (WB in figuur 5.1) wordt er bepaald of het vrachtpapier in orde

is en wordt de tijd bepaald die het inweten duurt, voordat het voertuig door kan rijden naar de volgende systeemteiteit.

De diamanten in de twee schema's geven een splitsing in de route aan. In figuur 5.1 zorgen de diamanten ervoor dat een voertuig de route naar de juiste bestemming rijdt en wordt zo door het systeem geleid. In figuur 5.2 is er sprake van een ander soort splitsing, hier vraagt het systeem zich elk uur af of het einde van de dag is bereikt. Is het einde van de dag niet bereikt dan rijden alle bestaande voertuigen in het systeem door. Is het einde van de dag wel bereikt dan wordt alle informatie opgeslagen en worden de voertuigen uit het systeem verwijderd, waarna er weer een nieuwe dag begint en het systeem opnieuw wordt gestart.

Het is belangrijk op te merken dat ondanks dat figuur 5.2 er anders uitziet dan figuur 5.1 de interne voertuigen volgens de logica van figuur 5.1 door het systeem geleid worden. De interne ritten vinden tegelijk met de externe ritten in hetzelfde systeem plaats. Er is voor de huidige weergave gekozen omdat een figuur waarin alle mogelijke interne routes worden aangegeven erg onoverzichtelijk zou worden. Een voertuig dat in figuur 5.2 van de BEC naar de HOU rijdt volgt precies dezelfde route en keuze momenten als in figuur 5.1, met als uitzondering dat interne ritten langs de interne Weegbrug (WB5 in figuur 5.2) gaan.

Als laatste figuur is er de grote rechthoek met afgeronde hoeken en een plusje onderin van het figuur te zien in figuur 5.2. Dit figuur geeft aan dat de activiteiten in de rechthoek een sub proces zijn met hun eigen begin en eindpunten.



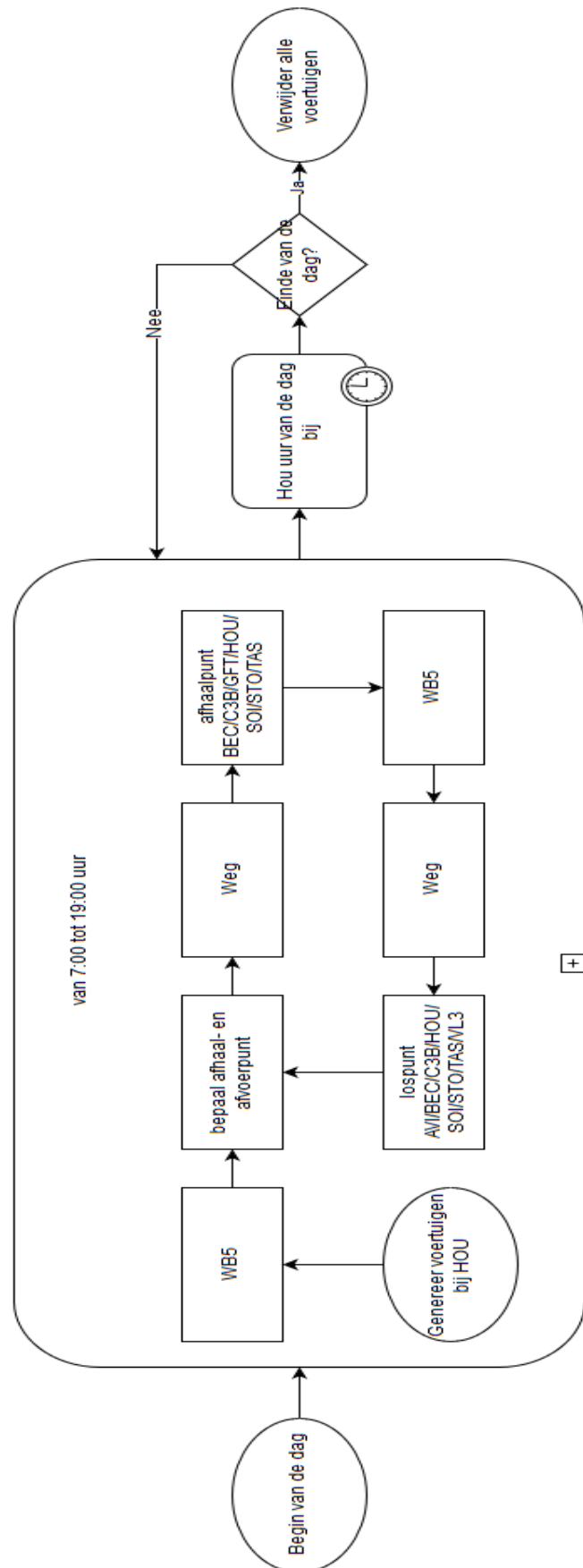
Als laatste is er nog een derde flow schema, waarin de werking van de weegbrug en parkeerplaats wordt weergegeven zoals die zouden werken wanneer het concept van Ergo Design in gebruik wordt genomen. Dit laatste model is te zien in figuur 5.3. Om het concept van Ergo Design te bestuderen, wordt er een nieuw model gemaakt, dat op een aantal aanpassingen bij de weegbrug en het toevoegen van een parkeerplaats na hetzelfde is als het model voor de huidige lay-out. Dus alle input variabelen en activiteiten op het terrein werken voor beide modellen hetzelfde.

In figuur 5.3 valt af te lezen dat er twee sub processen gaande zijn. Namelijk, het proces bij de weegbrug en het proces op de parkeerplaats. Bij de weegbrug wordt er bepaald of een voertuig naar de parkeerplaats moet, dit kan in twee gevallen:

- Als het voertuig van het type Huifwagen is en er al twee Huifwagens in of op weg naar de AEC zijn; en
- Als het voertuig één of meerder fouten in het vrachtpapier heeft staan die uitgezocht moeten worden.

In het geval van een voertuig type Huifwagen wordt het voertuig eerst ingewogen en daarna indien nodig wordt het naar de parkeerplaats gestuurd. Op de parkeerplaats wacht het voertuig tot er een andere huifwagen de AEC verlaat. Het voertuig dat het langst heeft staan wachten mag dan naar de hoofdweg.

Wanneer een voertuig fouten in de vrachtdocumentatie heeft staan wordt het niet toegelaten op het terrein. Om opstoppen voor de WB 1 en 2 zo kort mogelijk te houden wordt het voertuig naar de



Figuur 5.2 Stroomschema intern vervoer

parkeerplaats gestuurd, waar het kan wachten tot de problemen zijn verholpen. Wanneer de problemen zijn opgelost moet het voertuig worden ingewogen, dus zal het weer achteraan in de rij moeten aansluiten.

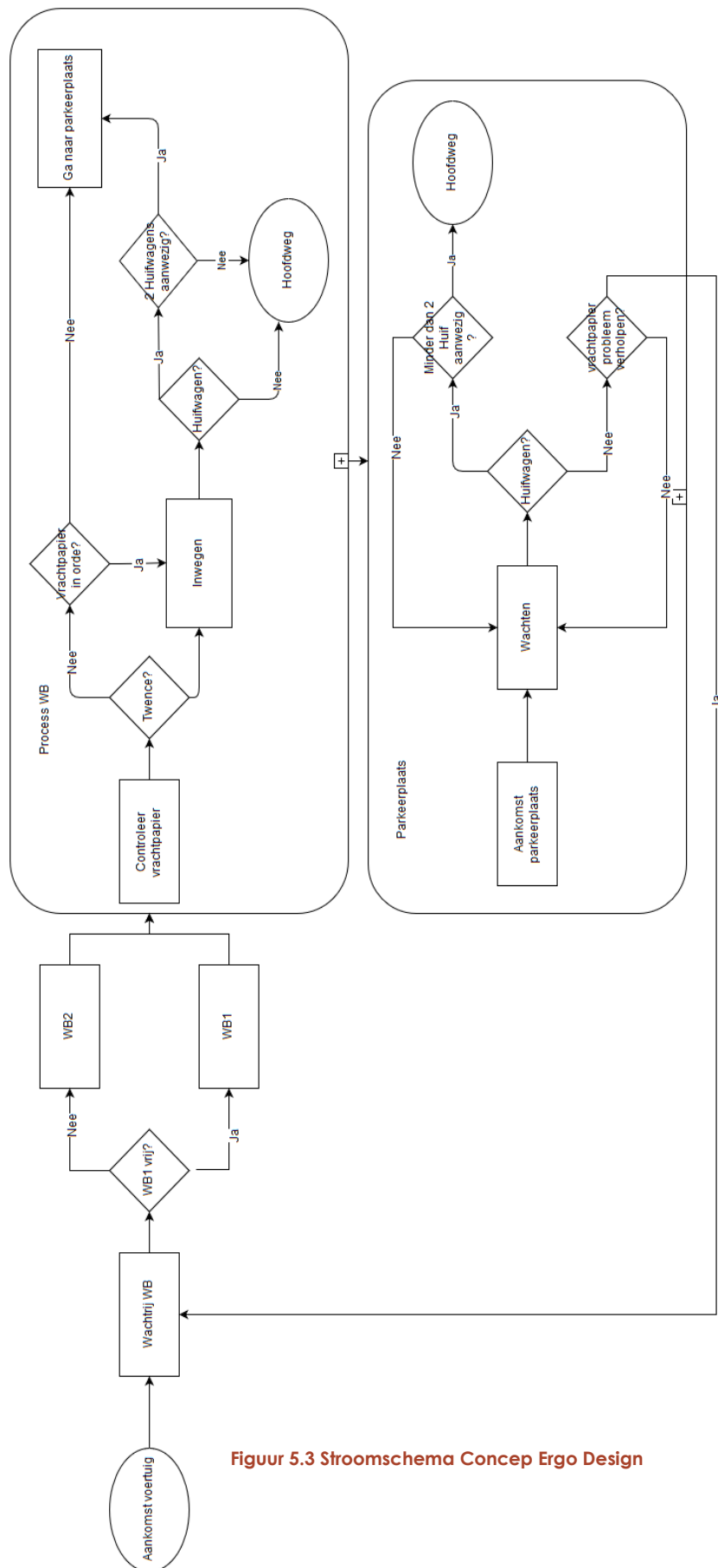
De bovenstaande schema's laten de mogelijke routes hieronder zien, hierna in paragraaf 5.1.4 volgt een beschrijving van de afzonderlijke entiteiten in het model.

5.1.4 Systeementiteiten

Zoals in de vorige paragraaf beschreven wordt in dit onderzoek een onderscheid gemaakt tussen terrein- en systeementiteiten. De terreinentiteiten zijn de entiteiten, zoals ze bij Twence in het vocabulaire worden gebruikt, waar afval verwerkt wordt. Met betrekking tot de simulatie wordt er ook gesproken over systeementiteiten; dit zijn de subsystemen van het simulatie model.

Een systeementiteit is een groep van handelingen, uitgevoerd door de simulatie, die overeen komen met de handelingen in realiteit. De systeementiteiten komen overeen met de volgende stappen die een voertuig in werkelijkheid doorloopt op het terrein van Twence:

- Aankomst;



Figuur 5.3 Stroomschema Concep Ergo Design

- Inwegen;
- Naar parkeerplaats (Concept Ergo Design);
- Naar de entiteit/CWP rijden;
- Container wisselen (optioneel);
- Voertuig laden bij entiteit (intern vervoer);
- Rijden naar WB5 (intern vervoer)
- Lossen bij entiteit;
- Rijden naar uitgaande weegbrug;
- Uitwegen;
- Transporter.

De systeementiteiten zullen in paragraaf 5.2 uitgebreid beschreven worden. Een speciale systeementiteit die hieronder wordt beschreven wordt is de "transporter". Deze systeementiteit wordt gebruikt om een voertuig te simuleren. Deze wordt beschreven aan de hand van de parameters die aan de systeementiteit worden toegekend.

Transporter

- o Is bedoeld als representatie van een voertuig, om de verschillende soorten voertuigen, bestemmingen, vrachtdocumenten, etc. van elkaar te scheiden zijn er verschillende parameters aan deze systeementiteit toegevoegd:
 - AantalCWP, alleen van toepassing op voertuigen die naar de CWP gaan, geeft aan hoe vaak het voertuig bij de CWP is geweest (max. is 3);
 - Bestemming, geeft de eerstvolgende bestemming van het voertuig op het terrein aan;
 - DocInOrde, geldt alleen voor voertuigen met doctypen "klant" en "EVOA". Een waarde van 0 zegt dat de vrachtdocumenten in orde zijn en een waarde van 1 geeft een fout aan;
 - DocType, geeft aan wat voor een soort vrachtdocument het voertuig bij zich heeft ("Twence", "klant" of "EVOA");
 - Entiteit, de naam van de entiteit waar het voertuig gaat lossen;
 - Oplegger, kan waarde 0 of 1 hebben. 0 betekent geen oplegger en 1 betekent wel een oplegger, hiermee wordt bepaald of een voertuig naar de CWP moet;
 - ProcStap, wordt gebruikt om de volgende bestemming op het terrein te bepalen. 0 betekent heeft nog niet gelost en 1 betekent heeft gelost;
 - Type, geeft aan wat voor een soort rit het voertuig maakt. Kan de waarden ExtAanvoer, ExtAfvoer en IntAanvoer hebben;
 - TypeVT, het type voertuig wordt o.a. gebruikt om de lostijd te bepalen. Mogelijke waarden: OpenContainer, Kraakperswagen, Kieptrailer, Huifwagen, WalkingFloor, Tankwagen, Gronddumper of Tractor;
 - Snelheid, wordt door de systeementiteit "WegWBKruis" gebruikt om de snelheid van het voertuig weer te geven op een bepaald moment.

5.1.5 Input Data

Globaal gezien zijn er vier verschillende soorten input data:

- o Parameters. Deze beschrijven de karakteristieken van de verschillende entiteiten en zullen elk experiment gelijk blijven;

- Input variabelen. Dit is data die kan variëren per experiment en wordt gebruikt om de gedragingen van het systeem te analyseren;
- Parameters stochastische variabelen. De waarde van deze parameters hangt af van het kansmodel dat van tevoren is bepaald en wordt gebruikt om de variabiliteit in het systeem te simuleren;
- Output variabelen. Zijn de resultaten die de simulatie produceert.

Parameters

De parameters die gebruikt zijn voor het model, zijn:

- De maximale buffercapaciteit van wachtrijen;
- Het aantal weeg/los punten van een entiteit;
- De lengte van de verschillende wegdelen;
- De lengte van een voertuig;
- De maximale snelheid op een bepaald weg deel;
- De stopafstand tussen voertuigen;
- De gewenste acceleratie;
- De gewenste deceleratie;
- De tijdsafstand tussen voertuigen.

Input variabelen

De input variabelen van het model zijn:

- Het gemiddelde aantal aankomsten. Deze variabele is afzonderlijk ingevoerd voor iedere entiteit en voor elk uur van de dag. Hiermee wordt de gemiddelde tijd tussen aankomsten bepaald. Deze variabele wordt gevarieerd om het effect van meer aankomsten te onderzoeken;
- De frequentieverdeling van de voertuigtypes. Deze variabele is anders per entiteit en uur van de dag;
- De frequentieverdeling van de voertuigdocumenten; en
- De kans dat er fouten in een vrachtdocument aanwezig zijn.

Parameters stochastische variabelen

De parameters van de stochastische variabelen die in het model gebruikt zijn:

- De aankomsttijd externe ritten. De aankomsttijd externe ritten is afhankelijk van de minimale tijd tussen aankomsten van een entiteit en van het uur van de dag. Er is per uur namelijk veel verschil tussen het aantal verwachte aankomsten en dit wordt door het model gemodelleerd door te evalueren of een aankomst het systeem in mag;
- De aankomsttijd interne ritten. Naast dat deze net als bij de externe ritten afhankelijk is van de tijd tussen aankomsten is deze variabele ook afhankelijk van de hoeveelheid interne voertuigen er op een bepaald moment op het terrein aanwezig zijn.
- De procestijd. Alle processen hebben variatie in de tijd die het duurt om het proces te voltooien en deze variatie wordt in het model gesimuleerd door alle weeg- en lostijden een kansverdeling mee te geven. De lostijden zijn afhankelijk van het type voertuig en de weegtijden van de vrachtdocumenten en of er een incorrect vrachtdocument is;
- Het aantal incorrecte vrachtdocumenten. Er is een bepaalde kans dat vrachtdocumenten van type 'EVOA' en 'klant' een fout bevatten.

Output variabelen

De output variabelen zijn in paragraaf 5.1.2 al dieper behandeld, dus hier is een korte opsomming:

- De gemiddelde doorlooptijd per route;
- De gemiddelde wachttijd voor een entiteit;
- De gemiddelde lengte van een wachtrij per entiteit;
- De utilisatie van de verschillende entiteiten; en
- De aankomsten per uur per entiteit.

De eerste vier variabelen zijn Pls die gebruikt worden om de verschillende scenario's te beoordelen. De laatste variabele is een belangrijke input voor verdere analyse van de capaciteit van de kruising en de 'practical worst-case'.

5.1.6 AANNAMEN

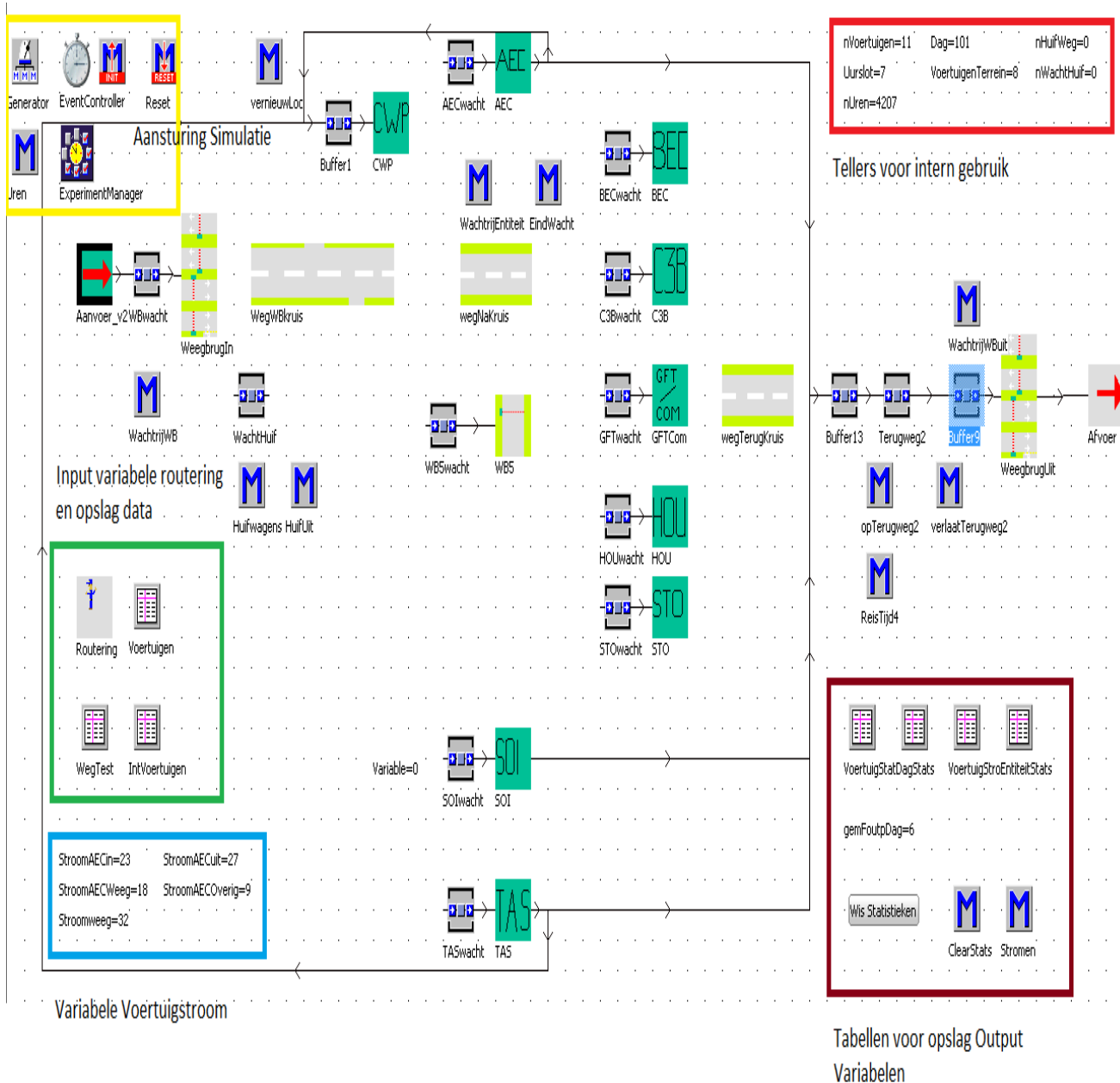
Een model is een gestileerde weergave van de werkelijkheid en is dus gebaseerd op allerlei aannamen. In deze paragraaf volgt een opsomming van de belangrijkste aannamen die in dit onderzoek zijn gemaakt.

- o De informatie uit SAP en van de weegbrug is representatief voor de huidige situatie en kan dus gebruikt worden om de input variabelen te vinden;
- o Alle chauffeurs reageren precies hetzelfde op verkeerssituaties;
- o Alle chauffeurs houden zich aan de snelheidslimieten op het terrein;
- o Voertuigen langs de weg hebben geen invloed op de snelheid van passerende voertuigen en het gedrag van de chauffeurs;
- o Tegemoet komende voertuigen hebben geen invloed op de snelheid van passerende voertuigen en gedrag van de chauffeurs;
- o Externe afvoer heeft geen invloed op de processen in de entiteiten;
- o Er zijn altijd vier containerwagens en vier tractors beschikbaar voor intern vervoer;
- o De tijden tussen de aankomsten zijn exponentieel verdeeld met een gemiddelde dat verschilt per uur;
- o De los- weeg- en containerwissel tijden zijn exponentieel verdeeld;
- o Het duurt tien minuten om een fout in een vrachtdocument op te lossen;
- o Voertuigen halen elkaar niet in op de hoofdas;
- o Alle ritten zijn onderling onafhankelijk;
- o De lostijd wordt volledig bepaald door het type voertuig en niet door het soort materiaal;
- o Al het benodigde hulp materieel, zoals shovels en kraanwagens, zijn altijd aanwezig;
- o Er zijn geen fouten bij accorderen. Deze zijn er in het echt wel, maar zorgen vooral voor meer variatie in de uitweegtijden, er is niet voldoende data om dit te modelleren;
- o Chauffeurs kiezen de snelste route naar een entiteit, rijden niet verkeerd en gaan zo snel mogelijk weer weg; en
- o De entiteiten zijn ten alle tijden tijdens openingsuren operationeel. Er vinden normaal een aantal onderhoudsstops plaats bij de entiteiten maar deze zijn gepland en hebben geen invloed op de dag capaciteit. Ongeplande stops komen nauwelijks voor.

5.2 HET SIMULATIE MODEL

Om de simulatie uit te voeren is gekozen voor het programma Tecnomatix Plant Simulation (TPS) van Siemens. Het simulatieprogramma biedt uitgebreide mogelijkheden om op basis van 'discrete event simulation' productie en logistieke systemen te simuleren. TPS is ook het programma wat op de Universiteit Twente wordt gebruikt in de colleges simulatie.

In het onderstaande figuur 5.4 staat een screen shot van de hoofdlag van het simulatie model. De hoofdlag komt overeen met het terrein van Twence van boven gezien. Grootste verschil is dat in werkelijkheid de in- en uitgang aan dezelfde kant zit. Hier zit voor een beter overzicht de ingang links en de uitgang rechts.



Figuur 5.4 Hoofdlag Simulatie Model

De hoofdlaag bestaat naast het model van het terrein uit de volgende secties:

- Aansturing simulatie;
- Tellers voor intern gebruik;
- Input Variabelen Routing en Opslag Data;
- Variabelen Voertuigstroom; en
- Tabellen voor Opslag Output;

Aansturing Simulatie

Tecnomatix heeft een aantal voorgeprogrammeerde functies die helpen bij het besturen van de simulatie. Dit zijn onder andere:

- De event controller. Hier kan de duur van een simulatierun worden ingevoerd, maar ook biedt het de mogelijkheid om de snelheid van de simulatie aan te passen;
- Init en Reset methodes. Deze methodes worden aangeroepen aan respectievelijk het begin of einde van een simulatie run. Ze zorgen ervoor dat de variabelen aan het begin/einde van een run worden gereset naar de gewenste waarden;
- Generator. Is een metronoom die op een vooraf bepaald interval tikt en in dit geval de methode uren aanroept, waarmee de klok een uur verder wordt gezet en zo nodig een nieuwe dag gestart.

Tellers voor Intern Gebruik

De tellers zijn variabelen die door methodes bij bepaalde gebeurtenissen met één of meer worden vermeerderd. Methodes worden aangegeven met een blauwe M, hier wordt de code in geschreven die het model aanstuurt. De tellers voor intern gebruik zijn belangrijk voor de aansturing van de simulatie. Zo hangt het aantal voertuigen dat er voor een bepaalde entiteit aankomen af van het uur van de dag. Deze tellers worden aan het begin van een nieuwe run gereset.

Input Variabelen Routing en Opslag Data

Deze sectie bestaat voornamelijk uit table files. De table files zijn de tabellen van TPS en bieden de mogelijkheid om data op te slaan. In de table file routing staan de opeenvolgende bestemming voor een voertuig afhankelijk van de entiteit en soort rit. De tablefiles Voertuigen en IntVoertuigen zijn belangrijk omdat hier alle data over de voertuigen wordt opgeslagen die het systeem nodig heeft om te functioneren.

Variabelen Voertuig Stroom

Deze tellers houden bij hoeveel voertuigen op een bepaald uur een bepaald stuk van het simulatie model passeren. Op deze manier wordt er inzicht verschaft in de verkeersbewegingen op het terrein.

Tabellen voor Opslag Output

In deze tabellen wordt alle data opgeslagen die naar Excel wordt geëxporteerd voor verdere analyse.

Naast de hoofdlaag bestaat het model uit meerdere sub lagen. Het model van het terrein bestaat naast de sub lagen uit buffers, deze stellen de wachtrijen voor die kunnen ontstaan

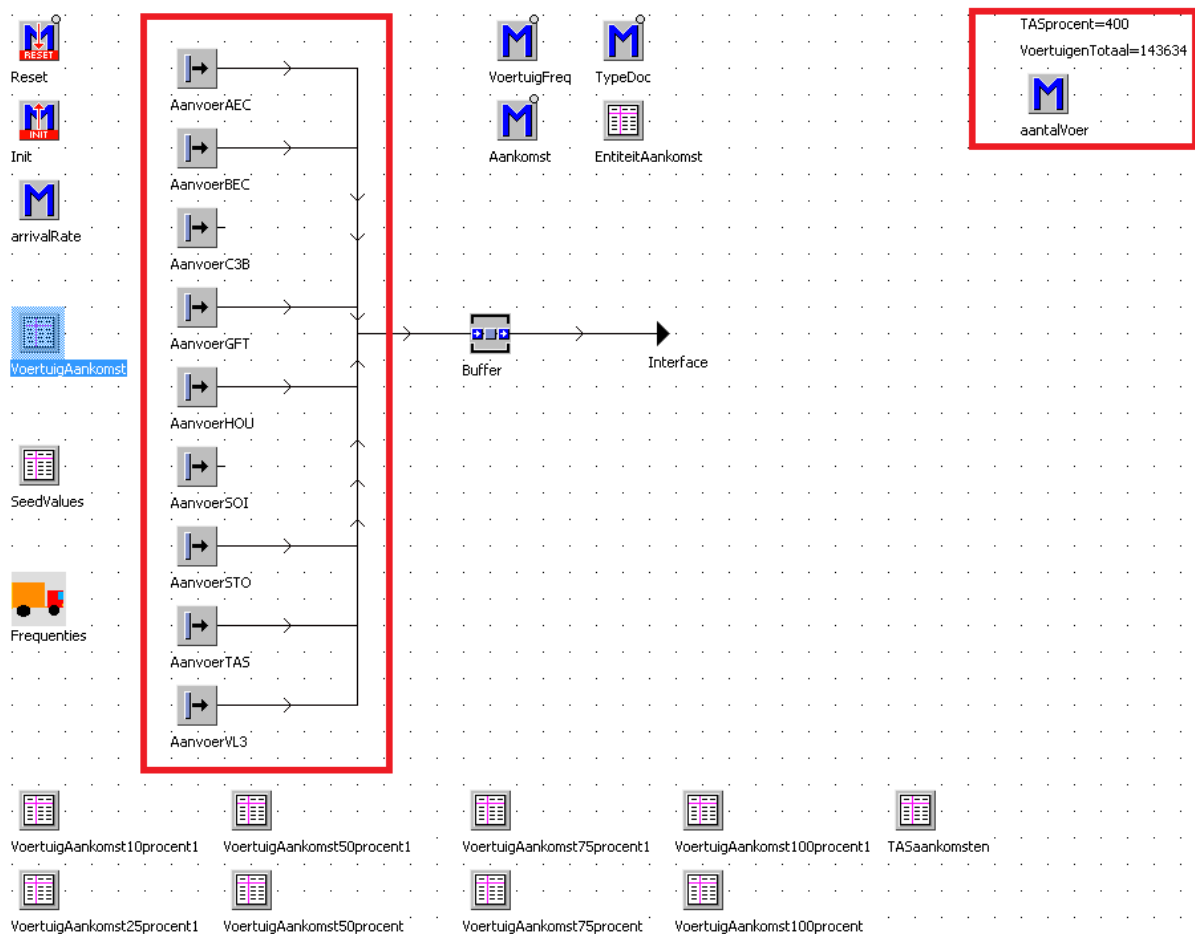
alle wachtrijen zijn FIFO. De sub lagen komen overeen met in paragraaf 5.1 genoemde systeem entiteiten, deze worden hieronder verder uitgewerkt.

5.2.2 AANVOER

In deze laag worden de aankomsten gecreëerd. In figuur 5.5 is te zien hoe het model eruit ziet.

Source

Met rood omrand zijn de Sources, hierin worden de aankomsten gegenereerd. Zoals te zien is in figuur 5.5 heeft elke entiteit zijn eigen source, op deze manier zorgt het model ervoor dat de aankomsten bij verschillende entiteiten onderling onafhankelijk zijn.



Figuur 5.5 Aanvoer Sub laag

Frequenties

Dit is een sub laag binnen de sub laag aanvoer, hierin staan de tabellen met de voertuigtype frequenties. Elke entiteit heeft per uur van de dag een aparte tabel, om zo het verschil over een dag te kunnen simuleren. Bij elke aankomst wordt er gekeken naar de bestemmingsentiteit en het uur van de dag. Met deze informatie wordt de juiste tabel gekozen in frequenties en wordt er door middel van een empirische distributie het voertuigtype bepaald. Zie figuur 5.6 voor een voorbeeld tabel. Daarnaast staat er ook een

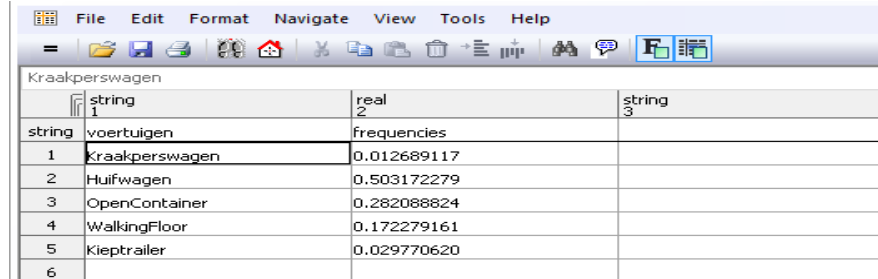
tabel voor met de frequentieverdeling van het aantal voertuigen dat naar de CWP gaat per entiteit. Als laatste is er een tabel met de frequentie verdeling van de document typen.

De Tabellen

In de tabellen met voertuig aankomst in de naam staat het gemiddelde aantal aankomsten per uur per entiteit. De tabellen onderaan worden gebruikt bij de experimenten met het aantal aankomsten.

Boven de sub laag frequenties is de SeedValues tabel te vinden. Hierin worden de nummers van alle 'random number

streams' elke kans variabele krijgt zijn eigen nummer stroom om er voor te zorgen dat de kans variabelen onderling onafhankelijk blijven. Als laatste tabel is er bovenin in het midden de tabel EntiteitAankomst, hierin staat de minimale tijd tussen aankomsten per entiteit.



string 1	real 2	string 3
voertuigen	frequencies	
1 Kraakperswagen	0.012689117	
2 Huifwagen	0.503172279	
3 OpenContainer	0.282088824	
4 WalkingFloor	0.172279161	
5 Kieptrailer	0.029770620	
6		

Figuur 5.6 Voorbeeld Voertuig Frequentietabel VL3 tussen 7:00 en 7:59

Tellers

In de rechterbovenhoek roodomrand staat de teller voor het aantal voertuigen dat het systeem wordt binnen gelaten, VoertuigenTotaal, deze teller dient als controle samen met de teller die het aantal voertuigen dat het systeem verlaat bijhoudt. Daarboven staat de variabele TASprocent. TASprocent wordt gebruikt om één van de VoertuigAankomst tabellen te kiezen aan het begin van het experiment.

Aankomstproces

Doordat de sources niet kunnen werken met een gemiddeld aantal aankomsten dat verandert per uur, bestaat het aankomstproces uit meerdere stappen. Als eerste wordt de minimale tijd tussen aankomsten per entiteit bepaald, dit wordt de gemiddelde waarde waarmee de source zijn aankomsten bepaald. Om er voor te zorgen dat het aantal aankomsten per uur gemiddeld gelijk is aan de werkelijkheid, wordt er gebruik gemaakt van 'thinning'.

Wanneer de Source een aankomst creëert wordt de methode ArrivalRate geactiveerd, deze bepaald of een aankomst ook naar 'binnen' mag. De bedoeling is dat van een tijdsafhankelijke exponentiële verdeling een set van exponentiële verdelingen wordt gemaakt die overeenkomt met de set van gevonden verdelingen van aankomsten.

Toewijzing parameters

Als een aankomst binnenkomt in het systeem is het nog een blanco transporter, waarvan alleen de bestemming al bekend is, deze wordt namelijk door de source bepaald. Het toebedelen van de parameters type voertuig (TypeVT) en type vrachtdocument (DocType) wordt gedaan door de methodes VoertuigFreq en TypeDoc.

De methodes kiezen op basis van de frequentieverdeling (empirische kansverdeling) in de tabel met de juiste entiteit en het juiste uur de waarde van de desbetreffende parameter. De

parameter wordt in de variabelen van de transporter opgeslagen, zodat deze door andere methodes direct kan worden aangeroepen.

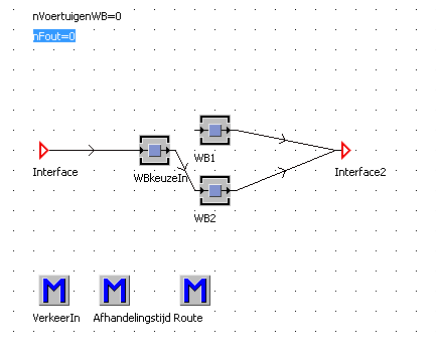
Als laatste is er de methode Aankomst. Aankomst zorgt ervoor dat elk voertuig in de tabel Voertuigen op de hoofdlaag wordt bij geschreven. Daarna voegt Aankomst de eerste data over het voertuig toe, zoals aankomsttijd, type voertuig, bestemming, etc.

5.2.3 WEEGBRUG

Wanneer een voertuig het terrein op wil rijden moet het eerst langs de weegbrug. Hier worden het vrachtdocument gecontroleerd en het voertuig gewogen. In figuur 5.7 staat een afbeelding van de sub laag weegbrug. De ingaande en uitgaande weegbruggen werken hetzelfde, alleen de weegtijd verschilt.

Single Processors

De weegbrug sub laag bestaat uit drie zogenaamde Single Processors (SP). De SP is een object in TPS om een productiestap mee te simuleren. Een SP heeft plek voor één transporter tegelijk. De SPs WB1 en WB2 stellen de ingaande weegbruggen voor. Op het moment dat een transporter één van deze SPs op rijdt, dan moet hij een bepaald aantal minuten wachten, hiermee wordt aangegeven bij het loket en wegen van het voertuig gesimuleerd. De andere SP WBkeuzeln is de eerste plek in de wachtrij voor de weegbrug. Hier moet de chauffeur de keuze voor een Weegbrug maken.



Figuur 5.7 Weegbrug sublaag

Methodes

De methodes bij de weegbrug zorgen voor de juiste doorstroming de weegbrug op, ze bepalen de weegtijd en berekenen de wachttijd, er wordt gecontroleerd of de vrachtdocumenten correct zijn en verzorgen de doorstroom van de weegbrug af. De methode VerkeerIn zorgt voor de keuze van weegbrug en controleert de vrachtdocumenten. De methode wordt aangeroepen op het moment dat er een voertuig de SP WBkeuzeln wil verlaten.

De methode Afhandelingstijd wordt aangeroepen op het moment dat een voertuig één van de WBs oprijdt en bepaald de procestijd bij de Weegbrug. De procestijden bij de andere entiteiten worden op dezelfde manier bepaald.

Als laatste is er de methode Route, deze zorgt ervoor dat een voertuig dat de Weegbrug verlaat naar de juiste vervolgstap gaat. Daarnaast heeft deze methode ook de functie om ervoor te zorgen dat de doorstroom van WBkeuzeln naar de WBs goed verloopt. Als een voertuig namelijk WBkeuzeln wil verlaten en ziet dat beide WBs vol zijn dan blijft hij staan en zal niet meer bewegen. Om ervoor te zorgen dat de transporter in dit voorbeeld toch doorrijdt wordt de methode route, die aangeroepen wordt als een transporter één van de WBs verlaat, gebruikt. De methode kijkt of er een voertuig voor de WB staat te wachten en als dit het geval is plaats hij het voertuig op de WB die net vrij is gekomen.

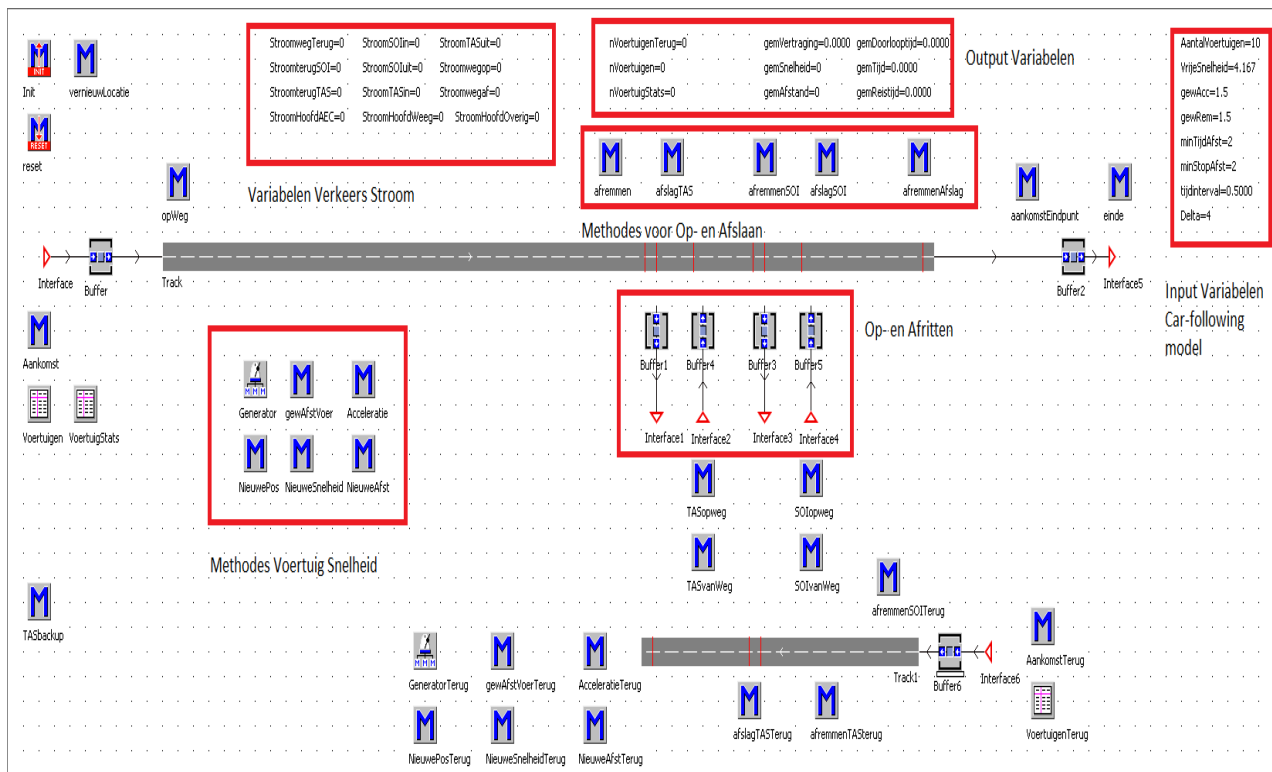
De hierboven beschreven methode om de doorstroom van de transporters te sturen wordt overall in het simulatie model gebruikt in situaties waar een transporter geblokkeerd kan raken.

Tellers

De teller nVoertuigenWB houdt het aantal transporters in totaal bij de Weegbrug bij, dit zijn zowel de wachtende transporters in de buffer voor de Weegbrug als alle transporters in de Weegbrug sub laag. Het aantal incorrecte vrachtdocumenten wordt door de teller nFout bijgehouden.

5.2.4 HOOFDAS

De hoofdas (WegWBKruis) is het simulatie model van het stuk weg tussen de Weegbrug en de Kruising. Aan deze weg zitten de afritten naar en opritten van de TAS en SOI. In figuur 5.8 staat de sub laag WegWBKruis weergegeven. Omdat dit weg deel één van de belangrijkste



Figuur 5.8 Hoofdas Sublaag

factoren is in de capaciteit van de Hoofdas wordt dit weg deel gedetailleerder gemodelleerd dan de overige wegen, waarvan alleen de reistijd van belang is.

Op het figuur zijn twee wegen te zien, dit zijn de twee weghelften, die van de Weegbrug naar het Kruispunt en die van het Kruispunt naar de TAS. De weg is een object in Tecnomatix dat gebruikt wordt om wegen te simuleren. De belangrijkste inputs zijn de lengte van de weg en de snelheid van de transporter. Door het wegobject te gebruiken in plaats van bijvoorbeeld een buffer de transporters rond de afslagen met behulp van sensoren beter gestuurd worden en het maakt het proces transparanter de gedragingen van de transporters zijn zichtbaar.

Methodes Voertuig Snelheid

Deze methodes zorgen samen met de generator voor dat het IDM wordt uitgevoerd. Het IDM staat in hoofdstuk 3 uitvoerig beschreven, maar zal hier in grote lijnen herhaald worden. Het IDM is een stimulus-reactie model, waarbij de stimulus de gewenste afstand is die een voertuig graag heeft met zijn voorganger afhankelijk van het verschil in snelheid tussen de twee voertuigen. De reactie is accelereren bij een positief verschil tussen de gewenste afstand en de echte afstand en decelereren bij een negatief verschil. Om er voor te zorgen dat de acceleratie niet oneindig groot wordt is er een parameter die de maximaal gewenste snelheid van het voertuig aangeeft. In formule vorm:

$$\frac{dv_\alpha}{dt} = a_\alpha \left[1 - \left(\frac{v_\alpha}{v_\alpha^0} \right)^\delta - \left(\frac{s_\alpha^*(v_\alpha, \Delta v_\alpha)}{s_\alpha} \right)^2 \right]$$

Met:

$$s_\alpha^*(v_\alpha, \Delta v_\alpha) = s'_\alpha + s''_\alpha \sqrt{\frac{v_\alpha}{v_\alpha^0}} + T_\alpha v_\alpha + \frac{v_\alpha \Delta v_\alpha}{2\sqrt{a_\alpha b_\alpha}}$$

In het model wordt als eerste de gewenste afstand van een transporter bepaald aan de hand van de bovenstaande formule. Daarna wordt met de eerste formule de acceleratie berekend. Vervolgens wordt de nieuwe positie bepaald met de formule voor verplaatsing bij een eenparige versnelde beweging met startsnellheid:

$$x(t)_\alpha = x(t)_{\alpha-1} + v_{\alpha-1}t + \frac{1}{2}at^2$$

Waarbij $x(t)_\alpha$ de nieuwe positie van de transporter is, $x(t)_{\alpha-1}$ is de vorige positie, $v_{\alpha-1}t$ is de afstand afgelegd met de oude snelheid en $\frac{1}{2}at^2$ is de afstand afgelegd tijdens het accelereren. Nadat de nieuwe positie is bepaald wordt de nieuwe snelheid berekend met de volgende formule:

$$v(t)_\alpha = v_{\alpha-1} + at$$

Als laatste wordt de afstand tussen de voertuigen berekend, door de positie van het volg voertuig plus de lengte van het eerste voertuig van de positie van het eerste voertuig af te trekken.

Om ervoor te zorgen dat het voorste voertuig (dat is het voertuig zonder voorganger) ook accelereert wordt de afstand met zijn 'voorganger' op 1000 meter gezet, hierdoor kunnen alle methodes werken zoals bedoeld, maar heeft de afstand geen effect op de snelheid.

Voor alle hierboven genoemde berekeningen zijn methodes geschreven en die worden in de bovenstaande volgorde geüpdatet. De update vindt elke halve seconde plaats en wordt aangestuurd door de generator. Wanneer alle waarden zijn berekend wordt de nieuwe snelheid aan de transporter meegegeven. Dit proces gebeurt voor alle transporters die zich op de weg bevinden. De update wordt als eerst voor het voorste voertuig uitgevoerd, daarna voor het tweede voertuig, etc.

Input Variabelen

Dit zijn de parameters die gebruikt worden door het IDM om te functioneren. De parameters zijn de vrijesnelheid (15 km/u snelheidslimiet), gewenste acceleratie ($1,5 \text{ m/s}^2$), de gewenste deceleratie ($1,5 \text{ m/s}^2$), de minimale tijdsafstand tussen voertuigen (2,0 s zoals aangeraden door de ANWB), de minimale stopafstand (2m), een factor delta die het type acceleratie bepaald, delta is 1 geeft een exponentiële versnelling en delta is oneindig geeft een constante versnelling, (4) en het tijdinterval waarop alle variabelen worden geüpdatet (0,5 s) alle waarden zijn, tenzij anders aangegeven, aangeraden door M. Treiber één van de bedenkers van het IDM (Treiber et al., 2000; Treiber, IDM: Traffic-simulation.de, 2016).

Output variabele

Worden gebruikt voor de analyse van de wegcapaciteit.

Variabelen Verkeerstroom

Houden het aantal voertuigen dat binnen een bepaald uur op een bepaalde plek aankomt bij. Hiermee wordt uiteindelijk de gemiddelde verkeersintensiteit berekend.

Methodes voor Op- en Afritten

De methodes voor de afritten worden aangestuurd door twee sensoren in de weg, de rode lijnen op de weg in figuur 5.8. De eerste sensor laat een voertuig dat afslaat beginnen met afremmen naar minimaal 10 km/u. Wanneer de transporter bij de tweede sensor komt wordt er gekeken of het gat met eventueel kruisend verkeer groot genoeg is. Het minimale gat dat een transporter nodig heeft is bepaald met behulp van de waarden in de HCM (2000) zie ook hoofdstuk 2. Als een transporter kan afslaan wordt het naar de juiste afslag getransporteerd dit zijn de buffer bij de kop Op- en Afritten, waarna ze hun weg vervolgen naar de juiste entiteit.

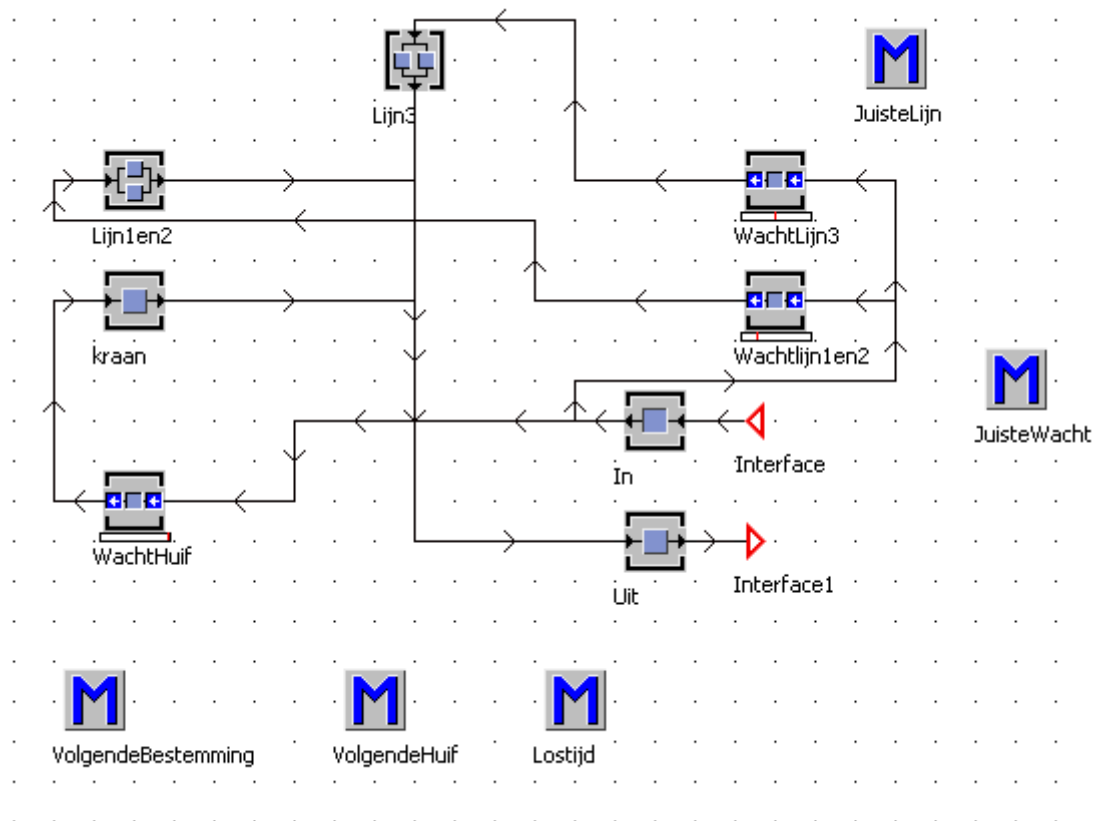
Verkeer dat de weg op wilt komt aan bij één van de opritten en daar worden de methodes aangeroepen. Allereerst wordt er gekeken of er voldoende ruimte is tot het volgende voertuig om de weg op te kunnen rijden, gelijk aan het afslaan dat hierboven is behandeld. Als het gat te klein is dan moet de transporter wachten dit gebeurt totdat de transporter op de weg de 3^e of 6^e sensor in figuur 5.8 is gepasseerd, waarna er opnieuw gekeken wordt naar de mogelijkheden om de weg op te rijden. Het voertuig wordt met een snelheid van 10 km/u op de weg geplaatst.

5.2.5 TERREIN ENTITEITEN

De terrein entiteiten werken in principe allemaal hetzelfde: Een transporter wordt van de buffer naar binnengelaten als er ruimte is of als er een transporter vertrekt. De transporter rijdt de SP of Parallel Processor (PP) op die vrij is. Een PP is hetzelfde als een SP maar dan met plaats voor meerdere transporters. De meeste entiteiten werken met PP omdat het lossen altijd hetzelfde is en één processor voor transporters is sneller en minder code dan wanneer er ook een keuze gemaakt moet worden tussen verschillende SPs. Wanneer een voertuig de SP of PP oprijdt wordt een methode aangeroepen die de lostijd bepaald. De lostijd wordt op dezelfde manier bepaald als de weegtijd bij de Weegbrug. De lostijd hangt af van het type voertuig. Wanneer de lostijd erop zit gaat het voertuig de entiteit uit en wordt het volgende voertuig naar binnen gelaten.

Een uitzondering is de AEC, omdat hier drie afzonderlijke clusters van stortgaten zijn, namelijk die van lijn 1 en 2, VL3 en het stortgat voor de huifwagens. In figuur 5.9 staat het model van de AEC. De AEC is ook de enige entiteit die wachtplaatsen binnen heeft, elk cluster heeft namelijk plaats voor één wachtende transporter. De huifwagens staan doorgaans niet in de wachtrij maar in een eigen wachtrij langs de hoofdas en worden naar boven gestuurd als er een huifwagen de AEC verlaat.

Bij het verlaten van een entiteit krijgt elke transporter een nieuwe bestemming, hiervoor zijn twee mogelijkheden: de CWP voor transporters met meerdere opleggers en de uitgaande weegbrug voor transporters met één oplegger.



Figuur 5.9 AEC Sub laag

5.2.6 CONTAINER WISSELPLAATS

De CWP bestaat uit 12 parkeerplekken waar voertuigen hun opleggers kunnen verwisselen. De chauffeurs gebruiken 2 plekken om de opleggers te wisselen, waarna ze naar hun bestemming toerijden en 1 oplegger achterlaten. Dus in de praktijk zijn er maar 6 plekken voor de chauffeurs om van oplegger te wisselen. Uit observaties leek dit genoeg en zijn er geen problemen waargenomen, maar personeel van Twence vertelde dat er wel degelijk opstopingen voor de CWP plaats vinden.

In de simulatie is de CWP gemodelleerd met een maximale capaciteit van 6 voertuigen. Er wordt dus vanuit gegaan dat chauffeurs geen gebruik maken van een enkele vrije plek naast een eerder geplaatste oplegger. Op het moment dat er een nieuwe transporter op de CWP wordt toegelaten gaat de voertuig capaciteit naar beneden en als deze nul is dan

worden er geen nieuwe transporters toegelaten. De voertuig capaciteit gaat pas weer omhoog als de transporter voor de 3^e keer is terug gekomen.

De wisseltijd wordt op dezelfde manier bepaald als de weeg- en lostijden bij de andere entiteiten. Hier hangt de gemiddelde procestijd er van af of het de 1^e, 2^e of 3^e stap is die de transporter neemt bij de CWP.

5.2.7 INTERNE WEEGBRUG

De interne weegbrug heeft twee functies in het model. Het wegen van interne ritten en het dient als begin en eind punt van de individuele ritten. Door een gebrek aan informatie over de aankomst en vertrek tijden en de laadtijden bij interne afvoer, wordt het proces van intern vervoer gesimuleerd vanaf het moment dat een rit bij WB5 aankomt, hierover is namelijk wel voldoende informatie. SAP meet een voertuig namelijk pas als het bij een weegbrug aankomt.

Het wegen bij de interne weegbrug gaat net zoals bij de externe weegbruggen: Een voertuig komt aan en er wordt een weegtijd bepaald aan de hand van een exponentiële kansverdeling. Verschil is dat de interne ritten niet langs een loket hoeven en dus ligt de gemiddelde weegtijd gelijk aan de van externe ritten met vrachtdocument Twence.

De aankomsten gebeuren hetzelfde als de aanvoer zie paragraaf 5.2.2, behalve dat er een extra voorwaarde wordt gesteld voordat een voertuig het terrein op mag. Er mogen namelijk maximaal maar vier container wagens en vier tractors op het terrein zijn, dus als er al vier aanwezig zijn dan wordt de rit verwijderd. Als een transporter voor de tweede keer terug komt bij WB5 dan is de rit gedaan en wordt het voertuig verwijderd.

5.2.8 OVERIGE WEGEN

De overige wegen zijn niet zo uitgebreid gemodelleerd als de weg langs de hoofdas, dit komt omdat deze minder belangrijk zijn voor de capaciteit van de hoofdas. Deze wegen zijn gemodelleerd met de generalisatie van het IDM, zie hoofdstuk 3, waarmee de snelheid afhankelijk van de dichtheid op een weg deel kan worden berekend. Die snelheid wordt dan gebruikt om de reisduur van een voertuig uit te rekenen, dit is de tijd dat een voertuig in een buffer staat. De buffer stelt het weg deel voor waarop het voertuig rijdt.

Elk weg deel tussen twee kruisingen heeft een eigen buffer, waardoor voertuigen dus geen hinder ondervinden van voertuigen op een ander weg deel. Ook is het dan aannemelijker om met een FIFO systeem te werken dan wanneer de hele weg als één enkele buffer zou worden gemodelleerd. Er wordt dus aangenomen dat voertuigen elkaar niet inhalen, wat trouwens ook niet mag.

Een andere aanname is dat voertuigen niet hoeven af te remmen voor bochten, voor de meeste bochten kan dit wel omdat de alle kruisingen, behalve het Kruispunt aan het einde van de hoofdas, flauwe bochten hebben en de voertuigen 15 km/u rijden. Ook is de remweg bij deze snelheid niet bijster lang dus ook bij de afslagen naar de entiteiten zal er niet veel tijd verloren worden door afremmen.

De heen- en terug weg na de Kruising zijn apart gemodelleerd. Er wordt dus aangenomen dat voertuigen in tegengestelde richting geen effect op de snelheid en gedrag van een chauffeur hebben.

5.2.9 AFVOER

De laatste sub laag is de afvoer. Transporters komen hier nadat ze van het terrein zijn afgereden, door de Wbuit te passeren. Hier worden de transporters uit het systeem verwijderd en worden de belangrijkste statistieken over de transporters opgeslagen in een tabel, die naar Microsoft Excel kan worden geëxporteerd voor verdere analyse.

5.3 OPZET SIMULATIE EXPERIMENTEN

In deze paragraaf worden de laatste ontwerp vragen behandeld voordat het simulatiemodel af is en kan worden uitgevoerd. De behandelde vragen stukken zijn: de manier waarop de stochastische variabele worden gemodelleerd; of een warm up periode nodig is en hoe lang die moet zijn; en het aantal runs per experiment er nodig zijn.

5.3.1 DE STOCHASTISCHE VARIABELEN

In hoofdstuk 4 zijn de waarden voor de input variabelen en parameters gevonden en in hoofdstuk 6 worden de waarden van de output variabelen gepresenteerd. In dit stuk gaat het over de variabelen die de input variabelen transformeren naar output; de Stochastische variabelen.

Deze variabelen worden stochastisch genoemd omdat de waarde die de variabele meekrijgt afhangt van variabiliteit. Er is geen model of formule die gegeven een aantal factoren met zekerheid kunnen voorspellen. Een stochastische variabele wordt beschreven door de kansverdeling die het meekrijgt.

De variabelen waarvoor een kansverdeling gedefinieerd moet worden zijn:

- Gemiddelde Tijd Tussen Aankomsten (GTTA);
- Procestijden. Dit zijn de weeg-, los- en wisseltijden bij de systeementiteiten;

Gemiddelde Tijd Tussen Aankomsten

In hoofdstuk 4 zijn voor alle entiteiten en alle uren het gemiddelde aantal aankomsten gevonden. Het gevonden gemiddelde zegt iets over het aantal voertuigen dat er per uur verwacht wordt te verschijnen maar dit zegt niks over het patroon waarin ze verschijnen. Van de gemiddelde aankomsten kan niet worden afgelezen of de voertuigen allemaal aan het begin van het uur of aan het einde komen. Hiervoor wordt de GTTA gebruikt.

Op zichzelf is de GTTA de inverse van het gemiddelde aantal aankomsten, dus dit zegt ook nog niet zoveel, maar wanneer de GTTA aan een continue kansverdeling wordt gekoppeld dan kan het patroon van aankomsten beschreven worden.

De kansverdeling die in dit onderzoek wordt gebruikt is de negatief exponentiële kansverdeling. Deze beschrijft de tijd die het duurt tot het volgende succes en een succes is in dit geval een aankomst. De negatief exponentiële verdeling heeft twee aannames waaraan voldaan moet worden:

- De aankomsten moeten onderling onafhankelijk zijn. Dus een aankomst a moet niet afhangen van een situatie waarin aankomst b wel of niet gebeurd is;

- De tijd die al verstreken is met het wachten op een aankomst verandert de verwachte tijd die gewacht moet worden op een aankomst niet. Dit wordt de geheugenloosheid van de exponentiële verdeling genoemd.

Beide aannames lijken voor de externe aankomsten zeer redelijk. Twence oefent geen invloed uit op de aankomsten en dus is er geen manier om de aankomsten te sturen waardoor het niet waarschijnlijk lijkt dat de aankomsten van een voertuig voor de VL3 afhangt van de aankomst voor de HOU. Bovendien is in veel verschillende onderzoeken bijvoorbeeld die van Buzacott et al., (1994) en Srinivasa en Viswanadham (2001) aangetoond dat een negatief exponentiële verdeling een goede manier is om een aankomstproces te modelleren.

Procestijden

Net als de GTTA zal de procestijd met de negatief exponentiële verdeling gemodelleerd worden. In dit geval betekent een succes dat er een proces voltooid is. Waar de negatief exponentiële verdeling voor aankomsten vaak een goed fit is voor de realiteit (Hopp & Spearman, 1995), is dit voor procestijden veel minder vaak het geval en zijn er vaak andere verdelingen die beter passen bij de data.

Het probleem is echter dat er over de procestijden geen data beschikbaar is. Daarom zijn de gemiddelden gevonden in hoofdstuk 4 ook afgeleid uit de doorlooptijden die SAP wel opslaat en uit observaties van de onderzoeker. De observaties zijn echter te weinig om een kansverdeling op te stellen waarbij de kans aanwezig is dat de resultaten slechter overeenkomen met de werkelijkheid dan bij gebruik van de negatief exponentiële verdeling. Voor de data uit SAP geldt dat deze bewerkt is om tot de resultaten te komen en dat er ook hier weinig zekerheid is om een verdeling op te baseren.

De negatief exponentiële verdeling heeft als voordeel dat hij compleet beschreven wordt door zijn gemiddelde, want het gemiddelde en de standaard deviatie zijn voor deze verdeling gelijk. Het variatie coëfficiënt (VC) is bij deze verdeling gelijk aan 1. Hopp en Spearman (1995) delen een VC van 1 in bij de middelmatige variatie. Uit de observaties en gesprekken met Twence medewerkers blijkt dat de processen meestal erg stabiel verlopen. Dus de variatie is eerder lager dan 1 dan hoger dan 1, wat betekent dat de resultaten van dit onderzoek aan de conservatieve kant zullen zijn. Waardoor de kans van overschatting van de capaciteit erg klein is. Omdat een overschatte capaciteit kan leiden tot oplopende doorlooptijden en wachtrijen is het niet slecht om de capaciteit lager te schatten dan dat het in werkelijkheid is.

5.3.2 WARMING UP

De warming up is een periode die een simulatie nodig heeft om in de zogenaamde steady state te komen. Een systeem met twee lospunten waarbij elk uur een voertuig aankomt en het lossen duurt ook een uur, heeft één uur nodig om in de staat te komen waarin het de rest van het experiment blijft, namelijk allebei de lospunten bezet. De tijd voordat de steady state wordt bereikt wordt transient state genoemd en data uit deze tijd wordt meestal niet gebruikt in het onderzoek.

Omdat voor dit onderzoek de GTTA per uur verandert, net zoals de verdeling van de type voertuigen die bij een entiteit aankomen. En omdat de dag na twaalf simulatie uren voorbij is

en alle transporters in het model worden verwijderd; de simulatie is 'terminating'. Dus een steady state kan nooit bereikt worden en daarom is er geen warming up nodig.

5.3.3 AANTAL RUNS PER EXPERIMENT

Om ervoor te zorgen dat variabiliteit binnen het systeem, dus niet gemodelleerde variabiliteit, zo veel mogelijk wordt uitgebannen en dat er genoeg data wordt verzameld om uitspraken te kunnen doen over de werkelijkheid, worden er meerder runs van de simulatie uitgevoerd.

Een run is een van tevoren bepaalde tijd die een simulatie loopt. In het geval van dit onder een aantal dagen. Wanneer dezelfde meerdere keren wordt uitgevoerd zullen de resultaten altijd hetzelfde zijn. Op deze manier is een simulatie controleerbaar door anderen. De resultaten van twee verschillende runs zijn daarentegen verschillend. Hierdoor worden uitschieters zoveel mogelijk worden uitgemiddeld.

Voor de validatie van het aantal runs en het aantal gesimuleerde dagen is uitgegaan van het aantal aankomsten per entiteit. Omdat de verdeling van de type voertuigen een zeer groot effect heeft op de prestaties van het systeem, zie ook hoofdstuk 4, is het zeer belangrijk dat deze waarde goed is gemodelleerd en daarom zijn de experimenten gedaan in 3 runs van 125 dagen. Om te bepalen of het gesimuleerde aantal aankomsten per entiteit wordt het 95% confidence interval (CI) berekend. De resultaten staan in tabel 5.1. Het 95% confidence interval betekent dat met 95% zekerheid gezegd kan worden dat het gevonden interval de werkelijke waarde van het aantal aankomsten per entiteit bevat. Zoals, in de tabel is af te lezen zijn de breedtes van de CI erg klein. Alleen bij GFT en Huif is de breedte van het CI groter dan 5% van het gemiddelde. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de gevonden waarden aannemelijke benaderingen van de werkelijkheid zijn.

Tabel 5.1 Confidence interval (95%) gesimuleerde aantal aankomsten per entiteit							
routes	run 1	run 2	run 3	gemiddelde	variantie	CI breedte totaal	CI breedte per dag
AEC	11125	11127	11047	11100	2081,33	113,34	0,91
BEC	3566	3624	3549	3580	1546,33	97,69	0,78
GFT	5490	5717	5732	5646	18386,33	336,87	2,69
HOU	2360	2359	2383	2367	184,33	33,73	0,27
STO	2880	2853	2937	2890	1839,00	106,54	0,85
TAS	3310	3379	3366	3352	1344,33	91,09	0,73
VL3	5484	5531	5325	5447	11654,33	268,20	2,15
Huif	2875	2853	2985	2904	5001,33	175,69	1,41

5.4 VERIFICATIE EN VALIDATIE

Het doel van de verificatie en validatie stap is om een simulatie model af te leveren dat dicht genoeg bij de werkelijkheid staat om experimenten uit te voeren waarvan de resultaten gebruikt kunnen worden voor problemen in de werkelijkheid (Carson II, 2005).

5.4.1 VERIFICATIE

Verificatie is het proces waarin wordt nagegaan of het simulatie model werkt zoals de programmeur bedoeld heeft. Dit betekent dat alle functies moeten werken zoals bedacht. Carson II (2005) beschrijft verschillende technieken om het model te verifiëren:

- Stress testen. Het systeem wordt onder zware druk gezet door de theoretisch maximaal haalbare waarde van variabele en parameters in te voeren en te kijken of het model blijft werken;
- Alle outputs nagaan. Niet alleen de Pls maar alle outputs of een grote hoeveelheid daarvan;
- Gebruiken van de debugger en animatie. Animatie wordt gebruik om de transporters te volgen terwijl zij zich door het model heen bewegen. Debuggen wordt gebruikt om door de code heen te lopen en te kijken hoe de variabele veranderen met elke stap.

Law (2005) voegt hier aan toe dat zowel het conceptuele model als het simulatiemodel met experts uit de praktijk bekeken moet worden.

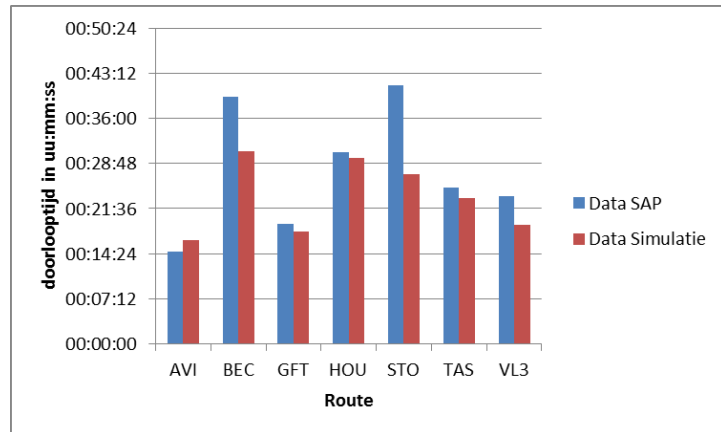
Tijdens het ontwikkelen van het simulatie model zijn deze methodes aan bod gekomen. Als stress testen zijn grote aantallen aankomsten op het systeem losgelaten en is er gekeken of het er congestie op en voor het terrein ontstond en of alle functies bleven werken. De debugger en animatie zijn uitvoerig gebruikt om alle fouten uit het model te halen. Het aantal inkomende transporters is afgezet tegen het aantal dat het terrein verlaten heeft en het aantal dat is verwijderd omdat de dag voorbij was. Alle tijden dat een transporter bezig was op het terrein zijn bijgehouden, dus alle reis-, weeg-, wacht-, los-, en wisseltijden deze zijn bij elkaar opgeteld en vergeleken met de levensduur van de transporter. De levensduur of average lifespan is een statistiek die door Technomatix voor alle transporters wordt bijgehouden. Het simulatiemodel is besproken met medewerkers van Twence.

5.4.2 VALIDATIE

Valideren bestaat uit het nagaan of de output van de simulatie dicht genoeg bij de realiteit ligt om experimenten te kunnen uitvoeren. Data validatie moet niet te ver worden door gevoerd, omdat er alleen met zekerheid bewezen kan worden dat de data niet valide is (Sargent, 2005).

Een manier die door Carson II (2005) wordt aangedragen is de output data met bestaande data of een bestaand systeem te vergelijken. Dit wordt op twee manieren gedaan: Als eerst worden de doorlooptijd in het model met normale aankomsten vergeleken met die in SAP staat; ten tweede worden de verwachte verdelingen van de type voertuigen per entiteit vergeleken met de output van de simulatie.

In figuur 5.10 staat de doorlooptijd gevonden in SAP vergeleken met doorlooptijd uit de data simulatie tussen 14:00 uur en 14:59 uur. De doorlooptijd is over de routes waarvan de entiteit in de figuur staat aangegeven. Bij de routes worden de voertuigen naar de CWP meegenomen, omdat er geen mogelijkheid is om die in SAP uit de routes te filteren. De huifwagens zijn er wel uit de data verwijderd. In figuur 5.10 is te zien dat de outputs voor de meeste routes goed overeen komt, behalve voor de BEC en de STO waar er sprake is van een groter verschil. Deze routes horen niet bij de belangrijkste voor de capaciteit van de hoofdas.



Figuur 5.10 Doorlooptijd gevonden in SAP afgezet tegen Simulatie tussen 14:00 uur en 14:59 uur

Chi-Square Test

De resultaten van de tweede manier om het model te valideren staan in tabel 5.2 en is een Chi-Square test, ook wel goodness-of-fit test genoemd. Deze test is gebruikt om te testen of de gevonden voertuigtype verdelingen per entiteit per uur overeenkomen met de verwachte verdelingen.

Voor de Chi-Square test is gekozen voor een alpha van 0,05. Dus de kans dat een verdeling die afgewezen wordt toch goed was geweest is 5%. De andere parameter is het aantal vrijheidsgraden deze staan met d.f. (degrees of freedom) in tabel 5.2 aangegeven. Het aantal vrijheidsgraden is het aantal gekozen bins min 1. Alle gevonden waarden worden in verschillende groepen met een vast interval verdeeld. Zo'n groep heet een bin. Gegeven de alpha en het aantal vrijheidsgraden kan de kritieke waarde gevonden worden. Wanneer deze kritieke waarde door de gevonden Chi-Square waarde wordt overschreden dan komen de verdelingen niet overeen. De kritieke waarden staan in tabel 5.3. De waarden in tabel 521 komen overeen met een experiment met drie runs en 125 dagen per run. Voor deze combinatie van dagen en runs vallen alle Chi-Square waarde binnen de kritieke waarde, dus komen alle verdelingen overeen met de verwachte verdelingen. De streepjes betekenen dat er op dat uur geen aankomsten waren bij de entiteit.

Tabel 5.2 Chi-square waarde (alpha 0,05; 125 dagen; 3 runs)

uur	AEC	d.f.	BEC	d.f.	GFT*	d.f.	HOU	d.f.	STO	d.f.	TAS	d.f.	VL3	d.f.
7	0.13	4	1.11	4	0.89	5	0.06	2	0.24	4	0.99	3	1.30	4
8	0.62	4	0.06	1	1.39	5	0.94	3	0.47	4	3.00	4	1.28	4
9	2.02	4	0.57	1	1.90	4	3.41	3	1.53	4	0.84	3	0.71	4
10	1.87	4	1.72	3	0.50	4	0.75	3	2.13	4	1.04	4	2.54	4
11	2.31	4	0.86	3	0.35	3	0.32	2	1.55	4	0.32	3	3.03	4
12	2.59	4	0.07	2	4.03	4	0.21	3	1.58	4	1.86	4	3.52	4
13	2.13	4	0.45	3	1.91	4	0.40	4	1.95	4	0.88	4	0.93	4
14	4.80	4	0.60	2	0.87	4	0.14	2	2.27	4	1.35	4	0.45	4
15	0.91	4	1.87	3	0.21	4	0.00	1	0.44	3	2.98	4	1.42	4
16	1.26	4	1.28	3	2.29	4	-	-	1.93	3	0.24	2	1.40	4
17	0.57	4	0.42	3	-	-	-	-	-	-	-	-	5.01	4
18	2.50	4	0.76	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.20	4

Tabel 5.3 Kritieke waarde Chi-Square test bij een alpha van 0,05

d.f	Kritieke waarde
5	11,07
4	9,49
3	7,81
2	5,99
1	3,84

5.5 DE EXPERIMENTEN

Bij een goed experiment wordt maar één van de input variabelen veranderd zodat de situatie voor de verandering met de situatie na de verandering kan worden vergeleken en er een uitspraak kan worden gedaan over het effect van de input variabele op de output. De input variabele die in dit onderzoek worden beschouwd zijn het aantal aankomsten per uur en de verdeling van de vervoersdocumenten. Naast het veranderen van input variabelen zijn er ook experimenten waarbij de lay-out van het terrein wordt veranderd dit zijn experimenten om het concept ontwerp van Ergo Design te testen.

5.5.1 EXPERIMENTEN MET INPUT VARIABELEN

Er zijn drie situaties waarover de medewerkers van Twence meer informatie over willen hebben:

1. Het aantal aankomsten neemt voor alle entiteiten toe. Hierbij blijven alle frequentie verdelingen hetzelfde alleen de aankomsten per uur nemen toe;
2. Veranderingen in de verdeling van de vrachtdocumenten; en
3. Het aantal aankomsten van de TAS neemt toe.

Stijging aantal aankomsten

Het is belangrijk om niet met te veel verschillende aankomst niveaus te experimenteren, daarom zullen de niveaus op de mening van Twence medewerkers gebaseerd zijn.

Dit experiment heeft twee doeleinden, ten eerste wordt dit gebruikt om de capaciteit van de hoofdas te bepalen en het tweede doel is te evalueren hoe het systeem zich gedraagt bij toevoeging van een nieuwe entiteit. Normaal gesproken zou dit onderdeel ook bij de ontwerpproblemen horen, omdat het toevoegen van een entiteit voor veranderingen in de lay-out van het terrein zorgt. Het is echter zo dat het gaat om de hypothetische situatie dat er meer aankomsten komen omdat er een nieuwe entiteit is. Van de entiteit zijn geen specificaties, zoals capaciteit en positie op het terrein. Daarom zijn de medewerkers van Twence alleen geïnteresseerd in de gedragingen van de Weegbrug, de Hoofdas en de Kruising bij extra aankomsten. De toename in voertuigen ligt volgens Twence op ongeveer 100 extra voertuigen.

Het eerste experiment is de huidige situatie, dus de in hoofdstuk 4.1 en bijlage B aangegeven aantal aankomsten. Dit experiment dient als vergelijkingsmateriaal voor de andere experimenten en als input voor verdere analyse. Ergo Design schat dat het aantal aankomsten dit jaar met ongeveer 13 procent toe gaat nemen bij Twence. De ondergrens van de stijging in aantal aankomsten per dag is in dit onderzoek is 10 procent. De bovengrens is een stijging van het aantal aankomsten per dag van 75 procent. Want bij een grotere stijging wordt de verwachting dat de theoretische capaciteit van 60 voertuigen wordt bereikt. De waarde voor de stijging staan in tabel 5.4.

Tabel 5.4 Totaal aantal aankomsten per dag	
Stijging	Totaal aantal voertuigen per dag
Huidige situatie	300
Stijging van 10%	330
Stijging van 25%	375
Stijging van 50%	450
Stijging van 75%	525

De stijging van 10 procent zit dicht bij de stijging van 13 procent die door Ergo Design verwacht wordt. De top waarde is een verdubbeling van het aantal aankomsten, de verwachting is dat de maximale capaciteit rond dit aantal ligt. De 100 extra voertuigen voor een nieuwe entiteit ligt tussen de stijging van 25 procent en 50 procent in, maar door een trendlijn door de uitkomsten te tekenen voor alle Pls kunnen de waarden voor een 100 extra aankomsten geschat worden.

Mocht blijken dat bij deze stijging er geen uitspraak gedaan kan worden over de capaciteit van de TAS dan zal er een derde experiment worden gehouden waarbij alleen de aankomsten voor de TAS worden verhoogd.

Verdeling Vrachtdocumenten

Eén van de mogelijke problemen omtrent de doorlooptijd die in hoofdstuk 1 werd gegeven zijn de verschillende vrachtdocumenten. Uit gesprekken met medewerkers van Twence blijkt dat de meningen over het effect van de vrachtdocumenten verdeeld zijn: De één denkt dat de meeste tijdsverlies bij de Weegbrug plaats vindt en dat dit verholpen kan worden door de

stromen te versnellen; De ander denkt dat de problemen juist verder op het terrein ontstaan wanneer er meer doorzet vanaf de weegbrug komt.

De vraagstukken omtrent de vrachtdocumenten worden geanalyseerd door de verdeling van de vrachtdocumenten te veranderen en te kijken hoe het model hier op reageert. Om het juiste te onderzoeken moet eerst de verdelingen worden vastgesteld die realistisch zijn.

Zoals uitgelegd in hoofdstuk 2 kunnen er drie typen vrachtdocumenten worden onderscheiden op basis van de handelingen die de chauffeur en weegbrug medewerker moeten uitvoeren voordat een voertuig het terrein op mag. De drie typen zijn:

1. EVOA. Door de EU verplicht bij buitenlandse vrachten, duurt gemiddeld het langst;
2. Klant. Vrachtdocumenten die van de leverancier of vervoerder zelf zijn, moeten nog barcodes halen bij het loket van de Weegbrug;
3. Twence. Pasjes of documenten met barcodes van Twence er al op, dit is de snelste manier want de chauffeur hoeft zijn voertuig niet uit.

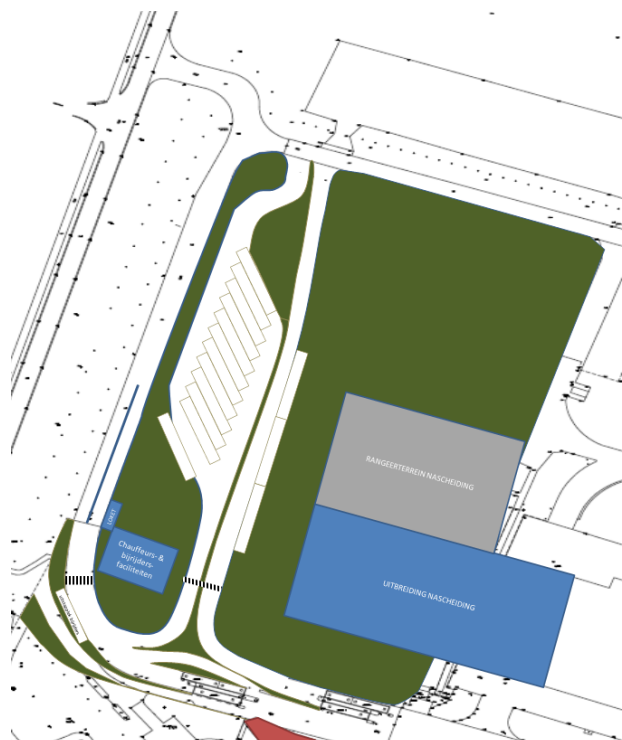
Om de doorstroom bij de Weegbrug te versnellen zou het aantal documenten van Twence omhoog moeten. We gaan uit van gelijk blijvende aankomsten, om het experiment zo zuiver mogelijk te houden, dus moet de andere typen minder vaak voorkomen. De EVOA wegingen zijn hier voor uitgesloten, omdat de handelingen die de EU voorschrijft er toch voor zorgen dat de chauffeur zijn vrachtwagen uit moet om naar het loket te gaan. De vrachtdocument type Klant zijn wel geschikt, de chauffeurs gaan hierbij namelijk alleen het voertuig uit om barcodes te halen.

De verdelingen van de vrachtdocumenten waarmee wordt geëxperimenteerd zijn verdeeld in drie situaties beoordeeld:

1. Huidige verdeling;
2. 100 meer Twence 100 minder Klant;
3. Geen Klant alles naar Twence.

5.5.2 Experimenten Concept Ergo Design

Als onderdeel van het onderzoek dat Ergo Design (2015) voor Twence heeft uitgevoerd, kwamen ze met concept ontwerp om de voertuigstroom te reguleren voor de weegbrug. In figuur 5.11 is het concept model te zien. Het concept bestaat uit een parkeerplaats en een set aanbevelingen die uiteindelijk moeten leiden tot een zelfregulerend inweeg systeem, waardoor er geen wachtrijen na de weegbrug meer ontstaan.



Figuur 5.11 Concept Ergo Design (2015)

In de eerste fase van het concept wordt de parkeerplaats in gebruik genomen en de Weegbrug gescheiden in een snelle stroom en een langzame stroom. Eén weegbrug wordt dan verantwoordelijk voor de aankomst van voertuigen met het vrachtdocument Twence (pasjes en door Twence aangeleverde documenten), de snelle stroom, en de ander voor de

voertuigen met lange lostijden en vrachtdocumenten type Klant en EVOA, de langzame stroom. Voor een groot deel komen de voertuigen met korte lostijden en Twence documenten al overeen, de Kraakperswagens zijn voor een groot deel voorzien van pasjes, dus worden alleen de vervoersdocumenten als selectie criterium per weegbrug gebruikt.

In de eerste fase dient de parkeerplaats voor het opvangen van Huifwagens die niet bij de AEC naar binnen kunnen en in de huidige situatie langs de weg moeten wachten en voor voertuigen die fouten in hun vrachtdocumenten hebben of om andere redenen niet gelijk ingewogen kunnen worden.

Het concept van Ergo Design wordt met twee experimenten getest:

- Scheiding van de weegbruggen; en
- Ingebruikname van de Parkeerplaats.

Scheiding Weegbruggen

Om het effect van gescheiden weegbruggen te testen worden in de simulatie de transporters met DocType Twence vrachtdocumenten naar WB1 gestuurd en de transporters met DocType Klant en EVOA gaan naar WB2, zie figuur 5.7. Omdat de scheiding van de Weegbruggen tot gevolg zal hebben dat ook de wachtrij wordt gescheiden wordt er in de hoofdlag een extra buffer naast de bestaande buffer Wbwacht, zie figuur 5.4. Voertuigen worden vanuit Aankomst_v2 direct naar de wachtrij voor de snelle dan wel de langzame stroom gestuurd.

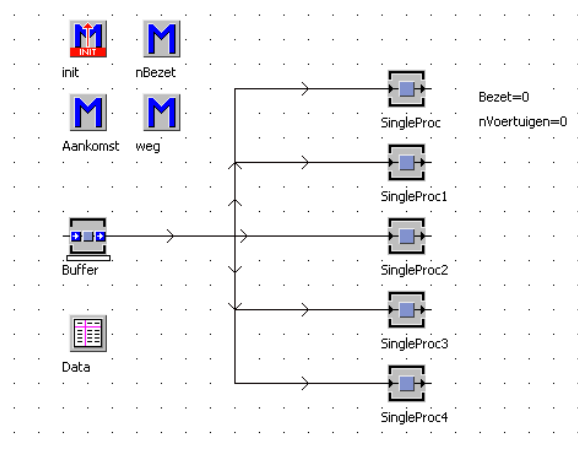
De uitkomsten van dit model worden met die van de huidige situatie (huidige lay-out en huidige aantal aankomsten) vergeleken op de volgende Pls:

- Lengte Wachtrij;
- Wachtijd;
- Benutting WB1 en WB2; en
- Doorlooptijd terrein.

Ingebruikname van de Parkeerplaats

De parkeerplaats wordt met een nieuwe sub laag gesimuleerd, die is te zien in figuur 5.12 onder de naam Pplaats. Er is gekozen voor vijf parkeerplaatsen en een buffer voor meerdere wachtende transporters. Transporters die een 1 score in de transporter variabele DocInOrde worden van de weegbrug naar Pplaats geplaatst, net zoals transporters type Huifwagen wanneer er twee ander Huifwagens op het terrein zijn.

Aangekomen in Pplaats zal de transporter plaatsnemen op één van de SPs die een parkeerplek voorstellen. De transporters met incorrecte vrachtdocumenten zullen hier een krijgen bij aankomst op de SP een verblijftijd toebedeeld, dit gebeurt middels een negatief exponentiële distributie met een gemiddelde tijd van tien minuten. Na het verstrijken van de verblijftijd wordt de transporter teruggestuurd



Figuur 5.12 Simulatie Model Parkeerplaats

naar de buffer. Er is aangenomen dat voertuigen met document type Twence geen fouten bevatten.

Huifwagens die niet gelijk het terrein op kunnen worden eerst ingewogen en aangemeld voordat ze naar de Pplaats worden getransporteerd. De Huifwagens kunnen alleen van de Pplaats af als er een plek op het terrein vrijkomt, dit gebeurt wanneer een Huifwagen de SP kraan in de AEC sub laag verlaat. Op het moment van verlaten wordt er een methode aangeroepen die nagaat welke Huifwagen op de Pplaats het langst wacht, deze selecteert en naar het begin van de sub laag WegWBKruis transporteert.

De Pplaats wordt gesimuleerd met hetzelfde aantal aankomsten als de huidige lay-out, dus ook de stijgingen in het aantal aankomsten om te zien of er nu of anders in de toekomst noodzaak is om de Pplaats aan te leggen.

Om de werking van de Pplaats te beoordelen worden de volgende Pls gebruikt:

- Lengte wachtrij WeegbrugIn;
- Wachtijd WeegbrugIn;
- Benutting Pplaats; en
- Doorlooptijd terrein.

5.6 SAMENVATTING

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de manier waarop het simulatiemodel is opgezet. Als eerste is er een concept model beschreven waarin de overstap van de realiteit naar een model wordt gemaakt. De manier waarop transporters door het model is beschreven en de belangrijkste aannamen om tot een werkbaar model te komen zijn benoemd. Daarna is het concept model omgezet in een simulatiemodel. Aan dit model zijn stochastische processen toegevoegd om de variabiliteit van de realiteit te simuleren. Vervolgens zijn het aantal runs en het simulatiedagen per run bepaald. Het werkende model is op twee verschillende manieren gevalideerd en de experimenten zijn ingericht. Er is gekozen voor het variëren van het aantal aankomsten voor het gehele terrein en de TAS het in bijzonder en van de verschillende document type. Er zijn ook twee experimenten gemaakt voor het testen van de aanbevelingen van Ergo Design. In het volgende hoofdstuk worden de resultaten van de simulatie gepresenteerd.

6.1 SIMULATIE HUIDIGE SITUATIE

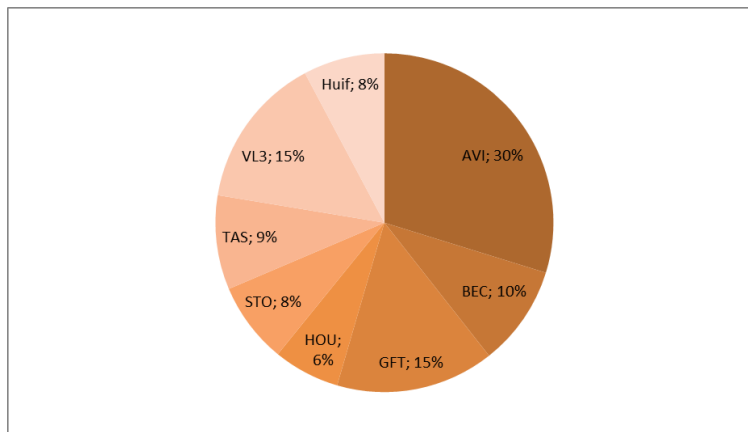
In dit stuk worden de resultaten van de huidige situatie gepresenteerd. Zoals aangegeven in hoofdstuk 5.1 dient het experiment van de huidige situatie als basis voor de andere experimenten en worden de gevonden verkeersintensiteit bij bijvoorbeeld het Kruispunt gebruikt als input voor verdere analyse.

Het gemiddelde aantal metingen in de huidige situatie is 37286 voertuigen dat is een gemiddelde van 298 per dag.

De verdeling van de aankomsten over de entiteiten staat in figuur 6.1.

In hoofdstuk 5.1 zijn de prestatie indicatoren (PI) opgenoemd, ter herinnering staan ze hieronder:

- Doorlooptijd;
- Lengte wachtrij;
- Wachtijd;
- Benutting.



Figuur 6.1 Verdeling van Aankomsten Simulatie per Route

6.1.1 DOORLOOPTIJD

Hieronder, in tabel 6.1 staan de doorlooptijden per route per dag gepresenteerd. Wat vooral opvalt zijn de Huifwagens die een gemiddelde doorlooptijd hebben van bijna 2 uur, wat veel groter is dan de in SAP gemeten doorlooptijd voor de Huifwagens, zie ook hoofdstuk 4.4.2, waar de grootste gemeten doorlooptijd 1:45 uur is. In hoofdstuk 4 is de Verloren Tijd gedefinieerd als de Doorlooptijd min de Verwachte Productietijd. De verloren geeft het aantal minuten aan dat er in totaal gewonnen kan worden.

6.1.2 WACHTRIEN

De PI geeft het aantal voertuigen dat op een dag in een wachtrij staat, deze wordt per systeem entiteit bepaald. In Tabel 6.1 zijn de scores op deze PI te zien. Er is duidelijk te zien dat de meeste wachtrijen voor de Weegbruggen ontstaan. Hierbij moet wel worden verteld dat voor deze cijfers de AEC het maximale aantal stortgaten in gebruik had, wanneer Lijn 1 en 2 twee stortgaten open heeft en VL3 vier stortgaten dan worden het gemiddelde aantal wachtende voertuigen bij de entiteiten ongeveer 25 per dag 29 procent van alle aankomsten staan voor de WB 1 en 2 te wachten.

6.1.3 WACHTTIJD

Wachttijd kan gezien worden als verloren tijd, zeker wanneer dit op het terrein plaats vindt. In totaal gaat er gemiddeld ongeveer 7 uur verloren aan wachttijden, in tabel 6.2 is te zien waar de verliezen optreden. De gemiddelde wachttijd is zoals valt te verwachten het grootst bij de systeem entiteiten met de langste procestijden.

Tabel 6.1 Gemiddelde Doorlooptijd van een Voertuig

Route	Gemiddelde Doorlooptijd	Verloren Tijd
AEC	00:19:44	00:08:15
BEC	00:28:30	00:09:34
GFT	00:17:36	00:02:28
HOU	00:27:01	00:09:00
STO	00:25:20	00:08:29
TAS	00:21:58	00:07:19
VL3	00:19:57	00:02:11
Huif	01:54:43	01:25:56

Tabel 6.2 Wachtrijen per Systeem Entiteit

	Aantal wachtende voertuigen	Totale verloren tijd	Gemiddelde wachttijd per voertuig
WB 1 en 2	83	02:52:15	00:02:05
Terrein Entiteit	13	01:30:25	00:06:57
CWP	4	00:34:50	00:09:50
WB 3 en 4	33	01:55:53	00:03:29
totaal	126	06:53:24	00:03:07

6.1.4 BENUTTING

De benutting van de verschillende entiteiten staan in tabel 6.3. De benutting van alle entiteiten is laag, wat op een flinke overcapaciteit duidt. Voor de berekening van de benutting van de AVI en VL3 is er uit gegaan van twee en vier stortgaten respectievelijk, maar dit kan in de praktijk oplopen naar vier en zes beschikbare stortgaten. De benutting van de AVI en VL3 is dus hoog geschat.

Ook in de simulatie is de WB 1 en 2 de bottleneck van het terrein, behalve voor de route Huif. De route huif heeft een tijd tussen aankomsten die groter is dan de tijd tussen vertrekkende voertuigen, waardoor de wachtrij steeds groter wordt, ware het niet dat na 10:00 uur de aankomsten flink afnemen. Uit de simulatie resultaten van de huidige situatie kan worden geconcludeerd dat de wachtrijen aan de weegbrug ongeveer gelijk door de variabiliteit van aankomsten en procestijden wordt veroorzaakt, maar dat de wachtrijen bij de entiteiten voor een grootdeel aan de variabiliteit in aankomsten ligt.

Tabel 6.3 Benutting Entiteiten

AVI	37%
BEC	20%
GFT	28%
HOU	8%
STO	9%
TAS	18%
VL3	12%
Huif	100%
WB1 en 2	58%
WB 3 en 4	54%

6.2 CAPACITEIT ENTITEITEN

Er zijn drie factoren die de capaciteit van een route kunnen bepalen, de bezetting van de bottleneck, de beschikbare ruimte voor wachtende voertuigen bij de entiteiten, de

capaciteit van de weg tussen de Weegbrug en de Kruising en de capaciteit van de Kruising. Om de capaciteit te vinden zal een simulatie van het model worden uitgevoerd met verschillende aankomsten niveaus. De aankomsten niveaus staan in tabel 6.4, dit is een herhaling van tabel 5.4 in hoofdstuk 5.5.1.

Bij de experimenten worden bijgehouden hoe de benutting van de verschillende systeem entiteiten reageert op een toename van het aantal voertuigen. Het kan namelijk zijn dat een andere entiteit dan de Weegbrug de bottleneck van het systeem wordt. De tweede PI die bijgehouden wordt om de capaciteit te bepalen is de lengte van de wachtrijen.

Tabel 6.4 Experimenten aankomsten niveaus

Stijging	Totaal aantal voertuigen per dag
Huidige situatie	300
Stijging van 10%	330
Stijging van 25%	375
Stijging van 50%	450
Stijging van 75%	525

6.2.1 BENUTTING

De resultaten van de experimenten staan in tabel 6.5 voor de benutting en figuur 6.2 voor de verdeling van wachtrijen. De gekleurde cellen in tabel 6.5 geven aan voor welke tests de benutting van een andere entiteit dan WB 1 en 2 de bottleneck is (de Huifwagens buiten beschouwing gelaten). Dus voor de meeste routes is de WB in of uit de bottleneck, behalve voor de GFT die vanaf 10% extra aankomsten ongeveer dezelfde benutting heeft als de Weegbrug. Op de AVI, BEC en GFT na blijft voor de meeste entiteiten de benutting laag.

Tabel 6.5 Max Benutting bij Verschillende Aankomst Niveaus

Entiteit	Huidige Situatie	10% extra	25% extra	50% extra	75% extra
AVI	37%	43%	50%	57%	65%
BEC	20%	31%	34%	40%	46%
GFT	28%	65%	67%	79%	90%
HOU	8%	17%	16%	21%	25%
STO	9%	19%	21%	23%	28%
TAS	18%	18%	23%	24%	28%
VL3	12%	12%	17%	18%	23%
Huif	100%	100%	100%	100%	100%
WB1 en 2	58%	65%	69%	81%	88%
WB 3 en 4	54%	60%	68%	80%	89%

Hoe dichter de benutting bij 100% komt, des te groter de ontregeling door variabiliteit (Hopp & Spearman, 1995), hierdoor ontstaan er veel en lange wachtrijen in productiesystemen met een benutting boven de 95%. In tabel 6.5 is af te lezen dat geen van de systeem entiteiten een benutting boven 95% (behalve de huifwagens) heeft en dus zou op basis van de benutting het aantal aankomsten nog kunnen stijgen, maar de GFT en WB1,2,3 & 4 zijn wel hard op weg, dus heel veel ruimte is er niet meer.

6.2.2 LENGTE WACHTRIEN

De systeem entiteiten AEC, GFT, TAS en Weegbrug hebben allemaal een in meer of mindere mate beperkte ruimte waar wachtende voertuigen opgesteld kunnen worden, zie tabel 6.6 en hoofdstuk 2. Bij de GFT is elke wachtrij te lang omdat deze voertuigen langs de weg worden gezet. Wanneer de beschikbare ruimte wordt overschreden heeft dit gevolgen voor de doorstroom naar de rest van het terrein voor de AEC, GFT en TAS, de voertuigen moeten dan op de weg wachten en houden verkeer naar andere entiteiten op. Als de beschikbare

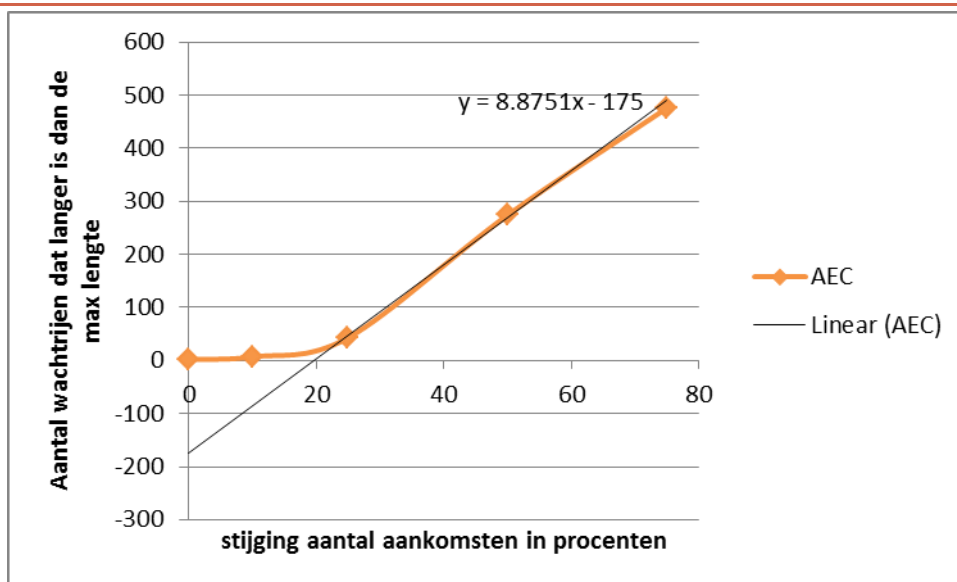
ruimte bij de Weegbrug wordt overschreden dan staan er voertuigen op de openbare weg te wachten.

Max Wachtrijen per Systeementiteit

Tabel 6.6 Maximale Lengte Wachtrij	
AEC	19
TAS	3
Weegbrug	45

In tabel 6.7 wordt een overzicht gegeven van het aantal wachtrijen dat de maximale lengte heeft overschreden per systeem entiteit. De cel met de naam max is de maximale lengte die een wachtrij mag hebben. De wachtrij voor de AEC bestaat uit voertuigen voor Lijn 1&2, VL3 en huifwagens die uit de wachtrij voor huifwagens zijn gelaten, maar op de ramp naar de AEC door andere voertuigen moeten wachten. In de tabel valt vooral op dat wachtrij voor de AEC vanaf een stijging van het aantal aankomsten van 25 procent de lengte van de wachtrij lineair toeneemt, zie ook figuur 6.2.

Tabel 6.7 Aantal Keer dat een te Lange Wachtrij is Gemeten						
Entiteit	max	huidig	10% stijging	25% stijging	50% stijging	75% stijging
AEC	19	2	7	43	274	476
GFT	0	1	1	1	2	3
TAS	3	0	1	0	2	4
WB 1&2	45	0	0	0	1	3



Figuur 6.2 Aantal Wachtrijen Langer dan de Max Lengte AEC

Kans op een Maximale Wachtrij

Er zijn metingen voor 125 aparte dagen gedaan, dat betekent dat de kans op een te lange wachtrij per dag gegeven wordt door de waarde in tabel 6.7 te delen door 125, zie tabel 6.8. Dat betekent dat vanaf een stijging van 50 procent te lange wachtrijen gemiddeld elke dag voorkomen. De kans dat een te lange wachtrij voorkomt is voor een stijging van 10 procent, is ongeveer 6%. Bij een stijging van 25 procent aankomsten is dat al 34%. Dus wanneer Lijn 1&2 twee stortgaten open heeft en VL3 vier, dan is de capaciteit van de gehele AEC 191 voertuigen per dag, onderverdeeld in 110 voertuigen voor Lijn 1&2, 54 voor VL3 en 27 Huifwagens. Daarentegen, wanneer alle stortgaten open zijn wordt het aantal wachtrijen dat te lang is, 1 bij een stijging van 75 procent aankomsten.

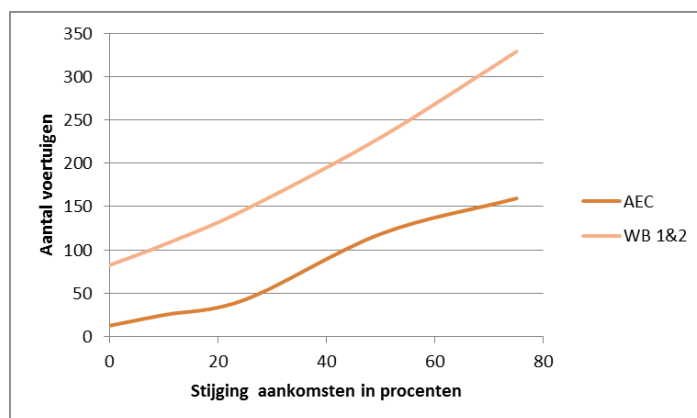
Capaciteit op Basis van Maximale Wachtrijen

Terugkijkend naar hoofdstuk 4 waar de theoretische capaciteit van het terrein op minimaal 60 en maximaal 71 aankomsten per uur. Wanneer de verdeling per uur uit bijlage B bekeken wordt, dan is er te zien dat bij een stijging van 75 procent in aankomsten de aankomsten per uur schommelen tussen de 14 en 121, waarbij alleen de laatste drie openingsuren het aantal onder de 60 komt. Dus het maximum van het terrein wordt ruimschoots gehaald. Dit is echter niet terug te zien in de wachtrijen, behalve bij de AEC, waarin geen sterke stijging van het aantal te lang is te zien. Dit lijkt erop te duiden dat de capaciteit tot en met een stijging van 75 procent gelijk zijn aan de theoretische capaciteit. Dat beeld verandert wanneer er gekeken wordt naar het aantal voertuigen in een wachtrij.

Gemiddelde Aantal Voertuigen per Wachtrij

Tabel 6.7 laat het gemiddelde aantal voertuigen zien dat per dag in een wachtrij staat. Ook hier zijn er nauwelijks wachtrijen bij de TAS en GFT. Bij AEC en WB 1&2 is de kans een stuk groter voor een voertuig dat het moet wachten. Een systeem waar meer dan 50% van alle aankomsten moeten wachten lijkt niet goed te presteren. Maar dit hoeft niet erg te zijn als het korte periode betreft. Wachtrijen voor de bottleneck kan ook bevorderlijk werken voor het systeem, door bijvoorbeeld de variabiliteit in aankomsten te minderen. Maar wanneer de wachtrijen lang duren dan gaat de acceptatie van klanten snel naar beneden en wordt er alleen maar meer variabiliteit geïntroduceerd. In figuur 6.3 is de stijging van het aantal wachtend voertuigen van de AEC en WB te zien. Beide lijnen lijken nog niet op te blazen bij 75 procent extra aankomsten.

Tabel 6.8 Percentage voertuigen die in een wachtrij komen					
	huidig	10% stijging	25% stijging	50% stijging	75% stijging
AEC	9%	16%	24%	56%	67%
GFT	2%	3%	4%	4%	11%
TAS	1%	1%	2%	2%	3%
WB 1&2	28%	32%	40%	53%	67%



Figuur 6.3 Gemiddeld Aantal Wachtende Voertuigen per Dag

6.2.3 WACHTTIJD

Voor de chauffeur van het voertuig en de klanten van Twence is het tijdsverlies opgedaan door wachtrijen een belangrijke indicator van functioneren van het systeem. Voor Twence

zelf is de wachttijd belangrijk omdat het de doorlooptijd beïnvloed. Voor de analyse van het tijdsverlies door wachttijden keren de entiteiten die voor de lengte van de wachtrij weer terug. Want waar de lengte van een wachtrij alleen een indicatie is van slechte prestaties wanneer de capaciteit van de wachtruimte wordt overschreden, geeft de totale wachttijd op zichzelf een duidelijke indicatie van de prestaties van het systeem.

In paragraaf 6.1.3 is te lezen dat in de huidige situatie de totale verloren tijd door wachtrijen ongeveer 7 uur per dag is. In tabel 6.9 staan de gemeten totale wachttijden per entiteit die op een gemiddelde dag voorkomen voor de verschillende experimenten. De resultaten maken het duidelijk dat steeds harder stijgen. Ook neemt de bijdrage van de Huifwagens steeds meer af, waar ze in de huidige situatie het grootste gedeelte van de wachttijd voor hun rekening nemen zijn ze bij een stijging van 75 procent voorbijgegaan door de wachttijden bij alle entiteiten. Opvallend is ook wanneer de stijging plaats vindt: Waar de entiteiten en de CWP de grootste stijging doormaakt tussen een stijging van 25 en 50 procent, daar stijgt de wachttijd bij WB 1&2 het hardst tussen de stijging van 50 en 75 procent.

In figuur 6.4 staan de totale wachttijden afgezet tegen de stijging van het aantal aankomsten. Door de punten op figuur 6.4 is een trendlijn getrokken, die laat zien dat er een kwadratisch

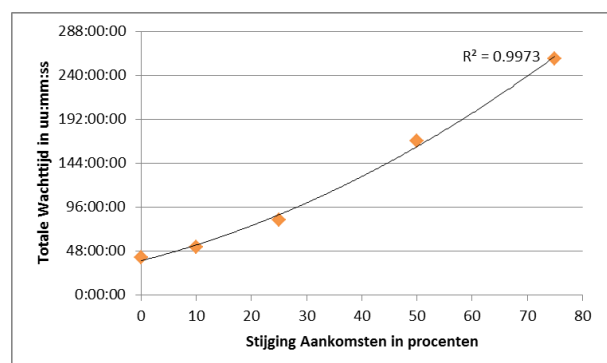
verband bestaat tussen de totale wachttijd en de stijging van het aantal voertuigen is. Hieruit kan de conclusie getrokken worden dat naarmate de

Tabel 6.9 Wachttijd per Dag					
	huidig	10% stijging	25% stijging	50% stijging	75% stijging
WB 1&2	2:51:22	4:18:00	6:52:37	15:52:26	35:07:04
Entiteit	3:51:12	6:23:20	13:03:12	57:37:43	107:26:13
CWP	0:41:30	1:20:41	2:55:19	15:16:17	21:37:33
Huif	31:35:59	37:42:33	55:34:09	72:34:02	82:50:42
WB 3&4	1:47:49	2:43:46	3:55:45	7:15:46	11:18:49
totaal	40:47:52	52:28:20	82:21:02	168:36:14	258:20:20

aankomsten stijgen de wachttijden steeds harder gaat stijgen. De R^2 waarde in de grafiek geeft aan hoe goed de trendlijn overeenkomt met de gevonden waarde, hierbij geldt hoe dichterbij de 1 des te beter de benadering.

6.2.4 DE WET VAN LITTLE

Tot nu toe is er duidelijk dat de entiteiten en weegbruggen tot een stijging van 75 procent van de aankomsten niet structureel last hebben van de te lange wachtrijen, ten minste als de AVI en VL3 al hun stortgaten kunnen gebruiken. Uit analyse van het aantal voertuigen in een wachtrij en de duur van wachtrijen komt naar voren dat beide Pls steeds harder gaan stijgen vanaf een stijging van 25 procent. De laatste Pl die wordt beoordeeld is de doorzet, het aantal voertuigen dat een route per tijdseenheid verlaat.



Figuur 6.4 Stijging Totale Wachttijd bij Stijging Aankomsten

In hoofdstuk 3 is de wet van Little behandeld die de grootheden onderhanden werk, doorlooptijd en doorzet met elkaar verbond in de volgende formule:

$$\text{Onderhanden werk} = \text{doorzet} \times \text{omlooptijd}$$

De wet van Little is een goede schatting voor de lange termijn prestaties van een productiesysteem (Buzacott et al., 1994) en geeft een perfecte benchmark. Één van de consequenties van de wet van Little is namelijk dat de grafieken voor omlooptijd en

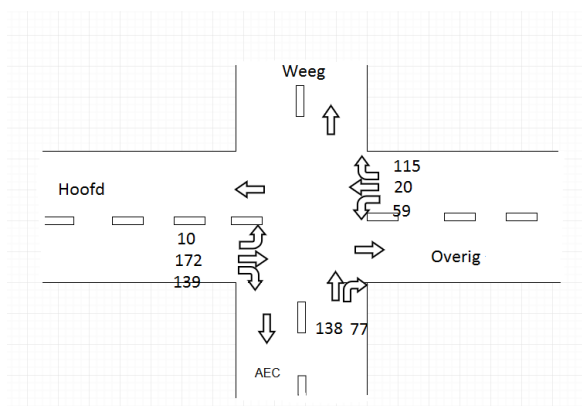
onderhanden werking een asymptoot hebben bij een benutting van 100 procent. Dat betekent dat rond een benutting van 100% de doorlooptijd oneindig groot wordt net zo als het aantal voertuigen in het systeem. De doorzet daar en tegen bereikt een maximum in de theoretische situatie.

De grootheden onderhanden werk en omlooptijd zijn bekend, zie bijlage I. Het onderhanden werk is bepaald in hoofdstuk 4 en gebruikt als input van de simulatie, de omlooptijd is één van de outputs van de simulatie. Door deze twee variabelen door elkaar te delen wordt de lange termijn doorzet bekend, zie tabel 6.10. De cellen in het groen geven het hoogste doorzet niveau per route aan.. Het aantal aankomsten waarvoor de doorzet zijn piek bereikt is het meest efficiënt, omdat dit niveau correspondeert met de laagste onderhanden werkniveau en omlooptijd.

Op basis van de Wet van Little is de capaciteit gelijk aan de aankomsten per uur in tabel 6.11. Voor WB 1&2 geldt dat de capaciteit bij een stijging van 25 procent bereikt wordt, dat is 375 voertuigen per dag en een over capaciteit van 75 voertuigen per dag.

Tabel 6.10 Lange Termijn Doorzet per Uur

	huidig	10% stijging	25% stijging	50% stijging	75% stijging
AVI	22	22	21	17	14
BEC	8	8	9	9	9
GFT	12	13	14	15	15
HOU	5	5	5	6	5
STO	5	5	6	6	6
TAS	7	8	8	9	8
VL3	19	20	19	14	11
Huif	1	1	1	1	1



Figuur 6.5 Verkeersstromen per dag op de Kruising

Tabel 6.11 Capaciteit per Routes

Route	Capaciteit (voer/dag)	Over Capaciteit
AVI	99	0
BEC	55	11
GFT	68	23
HOU	39	13
STO	30	6
TAS	47	16
VL3	80	7
Huif	<15	0

6.2.4 CAPACITEIT KRUISING

Met de in de simulatie gevonden verkeersintensiteit, zie bijlage J van de verschillende armen van het Kruispunt kan de capaciteit berekend worden. De verkeersintensiteit van de huidige situatie bij de Kruising is te zien in figuur 6.5. Tussen 14:00 en 14:59 uur komen de meeste voertuigen over de kruising, de verdelingen per afslag zijn te zien in tabel 6.12.

In tabel 6.12 staan niet alle stromen die te zien zijn in figuur 6.5. De stromen die altijd voorrang hebben, Hoofdweeg, HoofdAEC, AECOverig, OverigHoofd en OverigWeeg, worden niet meegenomen in de capaciteitsbeoordeling want deze stromen kunnen altijd doorrijden. Harders' (1968) model dat gebruikt wordt om de potentiële capaciteit te bepalen gaat uit van een voorrangskruising. De kruising bij Twence is een gelijkvloerse kruising. Het model kan toch toegepast worden als ervan wordt uitgegaan dat de stroom die voorrang krijgt van een andere stroom voor deze combinatie van stromen de

voorrangsweg is. Dus de stroom AECWeeg krijgt voorrang van de stroom HoofdOverig en is in dit geval de voorrangsweg bij Harders' model, maar moet voorrang verlenen aan de

stromen van Overig en is dus voor al deze stromen de niet-voorrangsweg.

Nadat de potentiële capaciteit is berekend per stroom moet er bepaald worden hoeveel last de stromen van elkaar ondervinden, de zogenaamde conflictstromen. Met behulp van de conflictstromen kan de effectieve capaciteit berekend worden. In tabel 6.13 staat de effectieve capaciteit per stroom en per arm.

**Tabel 6.12 Aankomsten Kruising
Tussen 14:00 en 14:59 uur**

Stroomnaam	Aantal aankomsten
HoofdOverig	25
HoofdWeeg	1
AECWeeg	16
AECHoofd	0
OverigAEC	7

De capaciteit wordt bepaald door de stroom van de AEC naar de Weegbrug met de stroom HoofdOverig daar vlak achter. De capaciteit is 687 voertuigen per uur van de AEC. Terugkijkend naar tabel 6.12 kan worden vastgesteld dat er meer dan genoeg capaciteit is.

Tabel 6.13 Effectieve Capaciteit Kruising

Naam Stroom	Capaciteit	Arm	Capaciteit (voertuigen/ uur)
HoofdOverig	695	Hoofd	697
HoofdWeeg	738	AEC	687
AECHoofd	763	Overig	1102
AECWeeg	687		
OverigAEC	1102		

6.3 KOSTEN WACHTRIEN

Doordat de meeste vervoerders door de klanten van Twence worden ingehuurd heeft Twence geen directe kosten door wachtrijen. Op het moment wordt er ook niet geconcurrereerd tussen de Afvalverbrandingsinstallaties op het gebied van doorlooptijd, veel belangrijker zijn de tarieven voor afvalverwerking en het keurmerk van de overheid. Transportkosten zijn ook belangrijk, maar dat gaat vooral over het wegtransport. Bedrijven uit Duitsland storten bijvoorbeeld bij Twence omdat ze de dichtstbijzijnde afvalverwerker met het hoogste keurmerk zijn.

Ondanks dat Twence de kosten niet direct voelt van de wachtrijen op haar terrein is het toch goed om een idee te hebben van hoeveel de wachtrijen kosten. Naast dat wachtrijen geld kosten wordt het milieu ook geschaad, door de uitstoot van de wachtende voertuigen.

6.3.1 KOSTEN VOOR TRANSPORTEURS

Omdat het niet te doen is om de kosten van alle transporteurs op te vragen, is Leemans Afval en Reiniging als voorbeeld genomen. Uit gesprekken met medewerkers van Leemans is gebleken dat een voertuig dat stilstaat Leemans ongeveer €85,- per uur kost. In tabel 6.14 staat een overzicht van de kosten. Voor een jaar is voor 261 dagen gekozen, het aantal dat Twence open was in 2014. Uit de tabel blijkt dat de totale kosten van ongeveer 1 miljoen euro voor het overgrote gedeelte door de wachttijden van de Huifwagens komt. Maar zoals

in paragraaf 6.2.3 te zien is zal bij een stijging van het aantal aankomsten de huifwagens uiteindelijk voorbijgestreefd worden door de wachttijd bij de entiteiten.

Tabel 6.14 Kosten Wachtrijen			
	Wachttijd	Kosten per dag	Kosten per jaar
WB 1&2	2:51:22	€ 242,77	€ 63.363,19
Entiteit	11:33:45	€ 982,82	€ 256.516,92
CWP	0:41:30	€ 58,78	€ 15.342,58
Huif	31:35:59	€ 2.685,98	€ 701.039,54
WB 3&4	1:47:49	€ 152,75	€ 39.868,15
 totaal	48:30:26	€ 4.123,10	€ 1.076.130,38

6.3.2 UITSTOOT

Tijdens het draaien van de motor stoot een diesel voertuig de volgende stoffen uit: fijn stof (PM_{10}), stikstofdioxide en stikstof monoxide (NO_x), zwavelstofdioxide (SO_2) en koolstof monoxide (CO) (Stadsverwarming Purmerend, 2011). In tabel 6.15 is een overzicht gegeven van de uitstoot van een dieselmotor van 500 kWh die tussen 2005 en 2008 gebouwd is.

Tabel 6.15 Uitstoot Stationair Draaiende Diesel Motor		
Soort Emissie	g/kWh	Uitstoot (kg/jaar)
PM_{10}	0,02	0.25
NO_x	3,5	44.31
SO_2	0,0041	0.05
CO	1,5	18.99

6.4 SAMENVATTING

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de volgende vragen waarop Twence middels dit onderzoek een antwoord wilde vinden:

- Hoeveel voertuigen kan de hoofdas van Twence per uur verwerken?
- Hoeveel extra aankomsten kan het terrein aan?

Voor het bepalen van de capaciteit is er eerst gekeken naar de benuttingsgraad, deze wees uit dat alleen de Huifwagens op het moment boven de capaciteit draaien, dat WB 1&2 de bottleneck is voor bijna alle niveaus van aankomsten voor de entiteiten, op de GFT na en er het bleek dat voor de meeste entiteiten de benutting erg laag blijft ook als de theoretische capaciteit van het terrein wordt bereikt.

Daarna is er gekeken naar de lengte van de wachtrijen. Vooral het aantal gemeten overschrijdingen van de maximale lengte. Het bleek dat de maximale lengte voor alle niveaus van aankomsten nauwelijks wordt overschreden.

Het aantal voertuigen dat in een wachtrij terecht komt en de duur van de wachttijd laten zien dat de meeste entiteiten steeds slechter gaan presteren op deze punten wanneer het aantal aankomsten groter dan 375 voertuigen per dag is.

Als laatste is er gekeken naar de lange termijn doorzet per route gegeven de bekende onderhanden werk en gevonden omlooptijd. Uit de gevonden doorzet kan geconcludeerd worden dat sommige routes bij het huidige aantal aankomsten op het meest efficiënte niveau draaien (AVI) andere dat doen op 10 procent meer aankomsten (VL3), weer andere 25 procent meer aankomsten en dat er entiteiten zijn die 50 procent meer aankomsten aankunnen.

Dus de theoretische capaciteit van 525 aankomsten zorgt niet voor belemmering van de voertuigstroom op het terrein in de vorm van wachtrijen die hun capaciteit overstijgen. Maar lettend op efficiëntie en economische en milieuschade is de maximale capaciteit dichterbij de buurt van 375 aankomsten per dag. Dit is een stijging van 75 voertuigen.

In het volgende hoofdstuk wordt er gekeken naar manieren waarop Twence de capaciteit mogelijk kan verbeteren. Hier worden ook de resultaten die horen bij de simulatie van het Ergo Design concept besproken.

HOOFDSTUK 7 VOORSTELLEN TER VERBETERING DOORLOOPTIJD TWENCE

Als onderdeel van de studie naar de capaciteit is Twence geïnteresseerd in een analyse van de principeschets van Ergo Design. Ook is er de vraag of de huidige openingstijden wel in het voordeel van Twence zijn. Als laatste worden er een aantal aanbevelingen gegeven voor het verbeteren van de doorlooptijd.

7.1 MOGELIJKE VERBETERINGEN DOORLOOPTIJD

In hoofdstuk 1 is er als onderdeel van de probleemstelling een overzicht van de problematiek omtrent de doorlooptijd gegeven in een probleemkluwen. Veel van de onderwerpen in de probleemkluwen zijn al impliciet behandeld in de voorgaande stukken tekst, maar hier volgt nog een opsomming.

De gevonden problemen zijn op te delen in twee groepen: de eerste groep heeft te maken met problemen die de variabiliteit van het proces vergroten en de tweede groep problemen ontstaat door een gebrek aan capaciteit, zie tabel 7.1

Tabel 7.1 Indeling Problemen Doorlooptijd

Variabiliteit	Capaciteit
Vrachtpapier niet conform Wet & Regelgeving	Voertuigen voor afvoer komen ook 's ochtends
Verschillende soorten vrachtpapier	Kraakwagens zijn rond dezelfde tijd klaar met hun ronde
Geen vaste aankomsttijden	Er is maar één kraan om te lossen
Niet geaccordeerd vrachten	Wachtrij is één lijn
Afvoer gebeurt in batches	Voertuigen die wachten voor de CWP
Langere uitweegtijd afvoer	

In de voorbije hoofdstukken zijn al een aantal problemen van de lijst afgestreept. Hier volgt een kort overzicht:

- Niet geaccordeerde vrachten. Gebeurt in 1,4 % van alle vrachten en ook de tijdsduur is niet heel groot om dit probleem te verhelpen, niet meer dan 2-3 minuten;
- Voertuigen die wachten voor de CWP. Uit de simulatie komt dat de wachttijden bij de CWP vergeleken met de andere wachttijden erg kort zijn; en
- Problemen met afvoer. De afvoer vormt een sporadische en kleine groep van alle ritten.

Daarnaast zijn veranderingen aan de lay-out van de entiteiten niet aan de orde, dus de problemen met één kraan voor de huifwagens en wachtrijen die andere voertuigen die wel kunnen lossen ophouden worden voor lief genomen. Dus blijven over:

- Vrachtpapier niet conform Wet & Regelgeving;
- Verschillende soorten vrachtpapier;
- Geen vaste aankomsttijden;
- Kraakwagens zijn rond dezelfde tijd klaar met hun ronde.

Van deze groep is er aan de Kraakwagens weinig te doen, in ieder geval dat idee leeft binnen Twence. Uit interviews met medewerkers van de AEB in Amsterdam is naar voren gekomen dat ze daar bezig zijn met het vinden van methodes om de kraakwagens meer geleidelijk binnen te laten komen. Door bijvoorbeeld een buurt depot in te richten die

gespreid over de dag wordt geleegd. De problematiek met de kraakwagens is verder niet onderzocht in dit onderzoek.

De overgebleven problemen hebben allemaal te maken met het aankomstproces en zijn allen variabiliteit verhogend, waardoor er verder in het proces meer wachtrijen ontstaan. In hoofdstuk 4 en 6 is naar voren gekomen dat een groot deel van de verloren tijd wordt veroorzaakt door variabiliteit ontstaan bij de aankomsten.

Om deze variabiliteit te verminderen zijn vier ideeën geopperd waarvan er twee middels de simulatie zijn beoordeeld en van twee is er een analyse gemaakt. De ideeën zijn:

- Het concept model van Ergo Design;
- Meer vrachtdocumenten van het type Twence;
- Het terrein eerder openen/afsluiten;
- Aankomsten beter spreiden middels een aanmeld systeem.

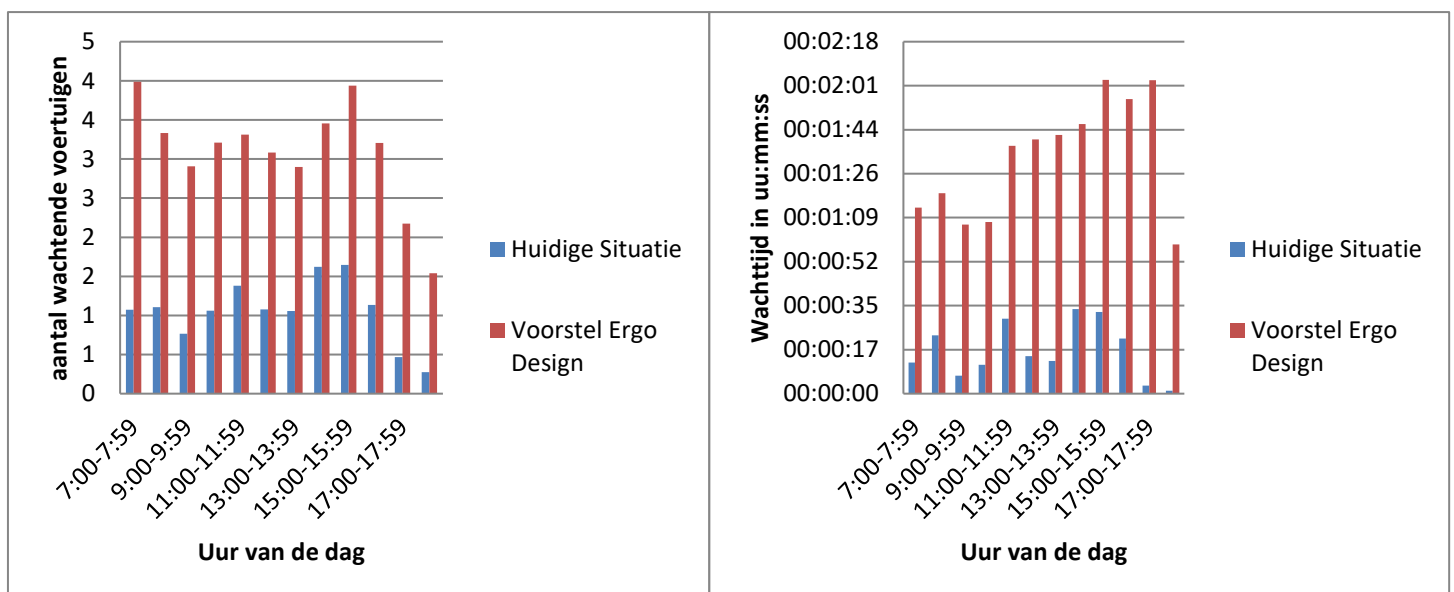
In de komende paragrafen worden de ideeën verder uitgewerkt.

7.2 CONCEPT MODEL ERGO DESIGN

In hoofdstuk 5 is een gedetailleerde beschrijving gegeven van het concept model dat Ergo Design heeft aangedragen als middel om de logistiek bij Twence te verbeteren. De belangrijkste punten zijn:

- Parkeerplaats voor het opvangen van voertuigen die het weegproces ophouden, door fouten in het vrachtdocument;
- Het plaatsen van de Huifwagens op de parkeerplaats; en
- De weegbrug opsplitsen in een snelle en langzame weegbrug.

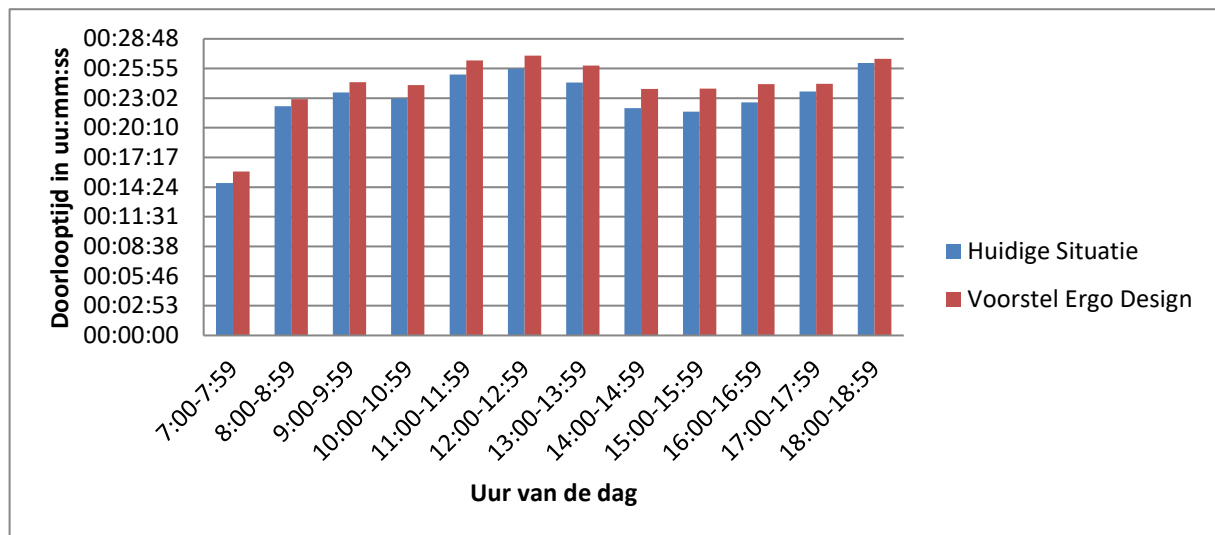
In figuur 7.2 hieronder zijn de lengte van de wachtrijen en de wachttijden van de huidige situatie vergeleken met de lengte en tijd van wachtrijen na ingebruikname van het voorstel van Ergo Design. De twee grafieken laten zien dat de prestaties na ingebruikname van het concept van Ergo Design afnemen. De oorzaak hiervoor zijn: ten eerste is 90% van de



voertuigen die gebruik maakt van de parkeerplaats een huifwagen. In de huidige simulatie model ondervinden voertuigen geen last van de huifwagens die langs de weg staan. De

tweede oorzaak is dat er met een gemiddelde van 5 voertuigen per dag die een fout in het vrachtdocument hebben de impact op de gemiddelde wachttijd en lengte van de wachtrij miniem is. De laatste en belangrijkste reden waarom Ergo Design slechter presteert is het opsplitsen van de weegbrug en daarbij dus ook de wachtrij. Hierdoor verkleind de benutting van de langzame weegbrug aanzienlijke en wordt die van de snellere vergroot. Vooral ook omdat de meeste langzame voertuigen 's ochtends komen en 's middags bijna niet.

In figuur 7.3 is de impact van het concept model op de doorlooptijd te zien. Duidelijk is dat er nauwelijks een effect gemeten wordt.



7.2.1 VOORS EN TEGENS CONCEPT ERGO DESIGN

Argumenten voor:

1. Veiligheid
 - o Geen wachtende wagens op de hoofdas;
 - o Geen mogelijkheid voor voetgangers om tussen de wachtende voertuigen op te duiken;
 - o Chauffeurs hoeven niet meer de weg over te steken voor koffie.
2. Milieu
 - o Mogelijk minder uitstoot, doordat chauffeurs eerder geneigd zijn hun motor uit te zetten.
3. Weegbrug
 - o Problemen met meerdere voertuigen tegelijk hoeven niet meer voor opstoppen op de weegbrug te leiden, waardoor ook de tijdsdruk voor personeel minder wordt om problemen op te lossen;
 - o Voertuigen hoeven niet meer op de openbare weg te wachten.
4. Doorlooptijd
 - o Wachtende voertuigen langs de weg kan voor lagere gemiddelden snelheden zorgen.
5. Service Kwaliteit
 - o Beter te bereiken faciliteiten voor chauffeurs.

Argumenten tegen:

1. Weegburg

- Door splitsing van weegbruggen in snelle en langzame stroom, neemt de bezettingsgraad van de weegbruggen af;
- Langere wachtrijen;
- Langere wachttijden.

2. Doorlooptijd

- Doorlooptijd tussen verlaten weegbrug in en weegbrug uit blijft nagenoeg gelijk;

3. Kosten

- Grote investering.

7.2.3 CONCLUSTIE CONCEPT ERGO DESIGN

Zoals de situatie nu is biedt het voorstel van Ergo Design geen operationele voordelen, gezien het minder wordende aantal huifwagens, sterker nog op sommige punten worden de prestaties zelfs slechter. Het voorstel kan wel leiden tot een verbetering van:

- Veiligheid;
- Milieu;
- Werkdruk weegbrug; en
- Service kwaliteit.

Aangezien alle bovengenoemde verbeter punten op dit moment niet in cijfers uit te drukken zijn, is het moeilijk om vast te stellen hoeveel verbetering er zal plaats vinden.

Gezien de hoge investeringskosten tegenover het gebrek aan verbetering van de operationele prestaties, biedt het huidige plan te weinig voordelen om uitgevoerd te worden.

Desalniettemin is de capaciteit voor het opvangen van problemen aan de weegbrug en de huifwagens on toereikend en dient hier wel een oplossing voor gevonden te worden.

HOOFDSTUK 8 CONCLUSIE

Het doel van dit onderzoek was tweeledig, allereerst was er het streven de vragen van Twence te beantwoorden omtrent de capaciteit van het terrein en de wenselijkheid van het toepassen van het concept model van Ergo Design. Het tweede doel was meer inzicht te bieden in de mogelijkheden ter verbetering van de doorlooptijd op het terrein.

Voor het vinden van de capaciteit moest er eerst bepaald worden wat capaciteit precies inhoudt. Uit de literatuur kwam naar voren dat er meerdere soorten capaciteit zijn te weten theoretische en effectieve capaciteit, waarbij de maximale capaciteit wordt bereikt in een situatie zonder variabiliteit, waar alle processen perfect van tevoren voorspeld kunnen worden. Helaas is er in de realiteit wel sprake van variabiliteit. Bij Twence is dat niet anders.

De variabiliteit bij Twence wordt vooral door de aankomsten veroorzaakt door onder andere pieken, verschillende soorten voertuigen en verschillende soorten vrachtdocumenten. Hierdoor kan de capaciteit van uur tot uur verschillen. Daarnaast moest er ook nog rekening gehouden worden met de maximale lengte van sommige wachtrijen. Een reden waarom de doorgevoerde variabiliteit vooral in de aankomsten zit, is dat op de benuttingsgraad van de entiteiten het grootste gedeelte van de dag onder de 50% blijft (max is 55% bij de WB, zie ook bijlage E) en zoals in hoofdstuk 4 besproken neemt de bijdrage aan de variabiliteit van de aankomsten toe naarmate de benuttingsgraad afneemt.

Er zijn vier stappen genomen om de capaciteit te bepalen:

1. Het bepalen van de bottleneck per route met behulp van de benutting. In de meeste gevallen was dit WB 1&2, de benuttingsgraad zat tijdens de piek uren tussen de 38% en 55%;
2. Nagaan of de maximale lengte van de wachtrijen bij de entiteiten niet werd overschreden bij verschillende niveaus van aankomsten. Dit gebeurde nauwelijks;
3. De totale wachttijd meten. Deze neemt na 375 aankomsten bij de meeste entiteiten snel toe; en
4. De lange termijn doorzet berekenen. Aan de hand hiervan kunnen de problemen rond de vele verschillen tussen de individuele uren vermeden worden en er een oordeel over de capaciteit gegeven worden. Het aankomst niveau waarbij een optimum per entiteit wordt bereikt verschilt tussen het huidige aantal aankomsten en 50% meer aankomsten.

De capaciteit van het totale terrein wordt bepaald door WB 1&2 hier kunnen maximaal 525 voertuigen per dag overheen dat is een overcapaciteit van 225 voertuigen. Maar gezien de sterk stijgende wachtrijen, van ongeveer 7 uur per dag bij 25% meer aankomsten naar 16 uur per dag bij 50% meer aankomsten en de kosten die dit met zich mee brengt is de ware capaciteit waarschijnlijk dichtbij de 375 voertuigen per dag en een overcapaciteit van 75 voertuigen.

Twee andere pijlers van de capaciteit zijn de weg die de Hoofdas vormt en de Kruising aan het einde van deze weg. Voor het vinden van de capaciteit van de Hoofdas is het Intelligent Driver Model gebruikt en gegeneraliseerd zodat er een formule werd gevonden waarbij de capaciteit afhankelijk van de gemiddelde snelheid werd gevonden. De capaciteit van de weg is 128 voertuigen per uur, waarbij er 11 voertuigen tegelijk de weg op kunnen en de snelheid is dan ongeveer 12 km/uur. Het verkeer staat vast wanneer er meer dan 17 voertuigen per 250 meter op de weg zijn.

De capaciteit van de kruising is gevonden door de verkeersintensiteit gevonden in de simulatie te gebruiken in combinatie met het gap-acceptance model van Harders (1968) en daarna een conflictstromen model te gebruiken. Uit de analyse bleek de capaciteit ruim te voldoen met op de zwakste arm een capaciteit van 687 voertuigen per uur, waar op het drukste moment van de dag 25 voertuigen langs kwamen.

Het vermeerderen van het aantal vrachtdocumenten type Twence is ook beoordeeld, maar dit leverde nauwelijks verbeteringen op. De meest voor de hand liggende reden is dat de het verschil tussen snelle en langzame voertuigen alleen maar groter wordt als de middenklasse er tussen uit valt.

Als laatste is het model van Ergo Design beoordeeld aan de hand van de impact die het heeft op de logistieke prestaties. Hieruit bleek dat vooral de splitsing van de weegbrug de prestaties flink deed verminderen. Het aantal wachtende voertuigen verdubbeld van 2 naar 4 en de gemiddelde wachttijd gaat van ongeveer 30 seconden naar 90 seconden. Ook had het plaatsen van een parkeerplaats niet genoeg effect om de kosten van zo'n project te kunnen verantwoorden. De doorlooptijd namen zelfs toe, de grootste toename is bijna 3 minuten. Het biedt Twence dan ook niet genoeg voordelen om het concept model te verwezenlijken.

Dat gezegd hebbende moet er wel een oplossing gevonden worden voor de Huifwagens.

Wanneer Twence de capaciteit wil vergroten, lijkt het logisch om de capaciteit van de WB1&2 te vergroten (bottleneck). Dit kan echter een averechts effect hebben wanneer de bottleneck verplaatst naar een andere entiteit. Wanneer de extra aankomsten naar de TAS, GFT of HOU gaan dan is er sprake van meer overcapaciteit en zouden oplossingen die de WB versnellen overwogen kunnen worden. De AEC heeft echter nauwelijks overcapaciteit, VL3 kan ongeveer 7 extra voertuigen per dag aan en de AVI draait al op het meest efficiënte niveau.

Een andere optie voor Twence is de buffers voor de entiteiten te vergroten. Dit lijkt geen oplossing, omdat er weinig ruimte is bij bijvoorbeeld de AEC. Daarnaast, staat dit haaks tegenover het doel van Twence om de doorlooptijd te minimaliseren.

Een derde optie voor Twence is proberen de variabiliteit in aankomsten te verlagen. Voordeel lijkt vooral te behalen wanneer de pieken in aankomsten verminderd kunnen worden. Hiervoor zijn er twee dingen nodig: een betere interne afstemming tussen de afdelingen die met de logistiek van doen hebben en een intensievere samenwerking met de klanten, want zij hebben ook een groot aandeel in het aankomsten proces. Interessante opties om te onderzoeken zijn het invoeren van tijdsloten waarop klanten zich kunnen inschrijven en intensievere samenwerking met regiopartners om oplossingen zoals tussenopslag plaatsen te vinden.

Kortom, het terrein zoals het er nu ligt bij Twence heeft voldoende capaciteit. Maar wanneer er een nieuwe entiteit wordt gebouwd waar bijvoorbeeld 100 voertuigen per dag naar toe gaan, dan neemt de kwaliteit van de logistiek bij Twence snel af. De kans dat een voertuig bij WB1&2 moet wachten wordt meer dan 50%.

Hiervoor zijn er twee dingen nodig: een betere interne afstemming tussen de afdelingen die met de logistiek van doen hebben en een intensievere samenwerking met de klanten, want zij hebben ook een groot aandeel in het aankomsten proces.

LITERATUURLIJST

- Blackstone, J. H. (1989). *Capacity Management*. Ohio: South-Western Publishing.
- Boyer, K. K., Frohlich, M. T., & Hult, G. T. (2004). Extending the supply chain: How cutting-edge companies bridge the last mile of the supply chain. NY: AMACOM.
- Bozarth, C. C., & Handfield, R. B. (2005). *Introduction to Operations and Supply Chain Management*. New Jersey: Pearson Education.
- Brilon, W., & Wu, N. (2001). Capacity at unsignalized intersections derived by conflict technique. *Transportation Research Record*, 82-90.
- Buzacott, J. A., Shanthikumar, G., & Yao, D. D. (1994). Jackson Network Models of Manufacturing Systems. In D. D. Yoa, *Stochastic Modeling and Analysis* (pp. 1-43). New York: Springer-Verlag.
- Carson II, J. S. (2005). Introduction to Modeling and Simulation. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, 18-23.
- Chowdhury, D., Santen, L., & Schadschneider, A. (2000). Statistical physics of vehicular traffic and some related systems. *Physics Reports*, 199-329.
- Ergo Design. (2015). *voorstudie logistiek nascheiding*. Enschede: Ergo Design.
- Flynn, B. B., Huo, B., & Zhao, X. (2010). The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach. *Journal operations management*, 58-71.
- Greenshields, B. D. (1935). A Study of Capacity. *Proceedings of Highway Research Board*, 967-976.
- Heerkens, J. M., & Winden, A. v. (2012). *Geen probleem, een aanpak voor alle bedrijfskundige vragen en mysteries*. Buren: Business School Netherlands.
- Helbing, D. (2001). Traffic and related self-driven many-particle systems. *Reviews of modern physics*, 1068-1098.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (1995). *Factory Physics*. New York: McGraw-Hill Higher Education.
- Hult, G. T., Ketchen, D. J., Adams, G. L., & Mena, J. A. (2008). Supply chain orientation and balanced scorecard performance. *Journal of managerial issues*, 526-544.
- Knote, T. (2011). The Detrmination of Conflicting Flow Rates for the Calculation of Capacities of Minor Traffic Streams on Priority Intersections. *Procedia Social and Behavioral Sciences* , 642-652.
- Law, A. M. (2005). How to Build Valid and Credible Simulation Models. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, 24-32.
- Lee, C. W., Kwon, I.-W. G., & Severance, D. (2007). Relationship between supply chain performance and degree pf linkage among supplier, internal integration, and customer. *Supply chai management: an international journal*, 444-452.

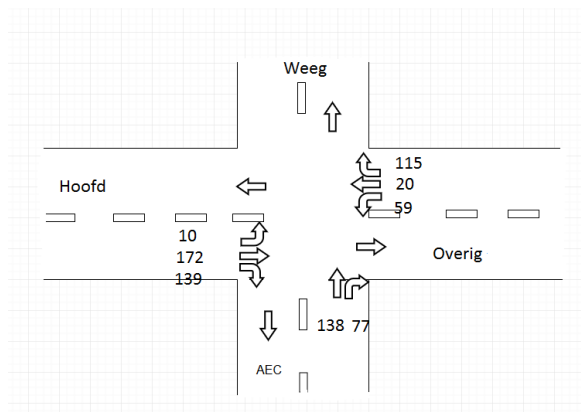
- Nagatani, T. (2002). The physics of traffic jams. *Reports on progress in physics*, 1331-1386.
- Reid, R. D., & Sanders, N. R. (2005). *Operations Management: An Integrated Approach* (2nd ed.). Hoboken, New Jersey, United States of America: John Wiley & Sons.
- Sargent, R. G. (2005). Verification and Validation of Simulation Models. *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, 130-145.
- Sonderen, M. H. (2014). *Logistiek transportverkeer*. Enschede: Saxion Hogeschool.
- Srinivasa, N. R., & Viswanadham, N. (2001). Generalized queuing network analysis of integrated supply chains. *International Journal for Production Research*, 205-224.
- Stadsverwarming Purmerend. (2011). *Onderzoek Luchtkwaliteit Biowarmte Centrale Purmerend*. Purmerend.
- Suri, R. (2010). *It's About Time: the competitive advantage of quick response manufacturing*. New York: Taylor & Francis Group.
- Tan, J.-a., & Tufo, F. (1997). A capacity analysis procedure for unsignalized intersections in Switzerland. *Third International Symposium without Traffic Signals*, 261-267.
- Treiber, M. (2016, januari 6). *IDM: Traffic-simulation.de*. Opgehaald van Traffic-simulation website: <http://www.traffic-simulation.de/IDM.html>
- Treiber, M., Hennecke, A., & Helbing, D. (2000). Microscopic simulation of congested traffic. *Traffic and granular flow '99*, 365-376.
- TU Delft. (2016, januari 3). *course readings: TU Delft*. Opgehaald van TU Delft OpenCourseWare: <https://ocw.tudelft.nl/course-readings/chapter-4-fundamental-diagrams/>
- Twence B.V. (2014). *Publieksjaarslag*. Oldenzaal: D4 B.V. Opgeroepen op august 18, 2015, van <http://www.twence.nl/dam/Downloads/150710-TWC-0322-NL3-Publieksjaarslag-HYPERLINKS/150710%20TWC-0322%NL3%20Publieksjaarslag%20HYPERLINKS.PDF>
- Twence B.V. (2015, August 18). *Over ons*. Opgehaald van [twence.nl](http://www.twence.nl/Twence/Over-ons.html): <http://www.twence.nl/Twence/Over-ons.html>
- Twence B.V. (2015, augustus 18). *Visie & Missie: Twence.nl*. Opgehaald van [Twence.nl](http://www.twence.nl/Twence/Missie---visie.html): <http://www.twence.nl/Twence/Missie---visie.html>
- Twence Holding B.V. (2014). *Financieel Jaarverslag*. Hengelo: Drukkerij Hofmeijer. Opgeroepen op September 2, 2015, van <http://www.twence.nl/dam/Downloads/150710-TWC-0322-NL3-Financieel-Jaarverslag-Holding-2014-HYPERLINKS/150710%20TWC-0322%23NL3%20Financieel%20Jaarverslag%20Holding%20HYPERLINKS.PDF>
- Wood, A. (1997). Extending the supply chain: strengthening links with IT. *Chemical Week*, 26.

BIJLAGE A: BEREKENING VAN DE IMPEDANCE FACTOR

De impedance factor is de schakel tussen de potentiële capaciteit van een verkeersstroom op de kruising en effectieve capaciteit. De bewegingen op een kruising kunnen hiërarchisch ingedeeld worden:

- Rang 1 - hoeft geen voorrang te verlenen aan andere stromen;
- Rang 2 - moet voorrang verlenen aan stromen met rang 1;
- Rang 3 - moet voorrang verlenen aan een stromen met rang 1 en rang 2.

Zoals in hoofdstuk 6 is uitgelegd kan voor bijvoorbeeld de stroom HoofdOverig de stroom vanaf de AEC gezien worden als een voorrangsweg waarbij beide stromen een rang 1 hebben en dus krijgt HoofdOverig rang 2. In tabel A.1 staan de rangen en de daarbij behorende verkeersstromen, zie ook figuur A.1 voor de een visualisatie van de kruising.



Tabel A.1 Rangen verkeersstromen

Rang	Verkeersstroom
1	HoofdAEC, AECOverig, OverigWeeg en OverigHoofd
2	AECWeeg, OverigAEC en HoofdOverig
3	OverigAEC en Hoofdweeg

Figuur A.1 Verkeersstromen kruising

Doordat de voertuigen van rang 3 soms moeten wachten op voertuigen van rang twee die afslaan, is de effectieve capaciteit van een kruising niet hetzelfde als de potentiële capaciteit. De factor die de potentiële capaciteit afneemt wordt impedance factor f_x genoemd. De impedance factor wordt per rang berekend:

Rang 1: Mag altijd doorrijden dus de potentiële capaciteit is gelijk aan de effectieve capaciteit;

Rang 2: $f_x = 1$;

Rang 3: $f_x = (1 - \frac{v_i}{c_{m,i}})(1 - \frac{v_j}{c_{m,j}})$.

Waarbij v_i en v_j het aantal voertuigen in de conflicterende verkeersstroom is en $c_{m,i}$ en $c_{m,j}$ de potentiële capaciteit.