

2017

Het reorganiseren van het intern transport binnen Fokker



Bachelorthesis by O.N.C. Witsen
Student Technische Bedrijfskunde aan de
Universiteit Twente
Uitgevoerd bij Fokker Aerostructures
2/20/2017



Bachelorthesis Technische Bedrijfskunde

Het reorganiseren van het intern transport bij Fokker middels Simulated Annealing.

O.N.C. Witsen

S1468162

University of Twente

Begeleiders Universiteit Twente:

Dr. P.C. Schuur

Ir. W. de Kogel-Polak

Begeleider Fokker Aerostructures:

G. Kemkers

Contact:

Drienerlolaan 5

7522 NB Enschede

Nederland

Contact:

Edisonstraat 1

7903 AN Hoogeveen

Nederland





Voorwoord

Na een periode van drie enerverende jaren in Enschede van voornamelijk hard studeren, was er aan mij de eer om de opgedane kennis te in praktijk te brengen bij Fokker Aerostructures in Hoogeveen.

Vanaf het moment dat ik ben begonnen bij dit bedrijf ben ik goed ontvangen en heb ik van verscheidene personen binnen het bedrijf steeds ondersteuning en constructieve feedback gekregen die van positieve invloed is geweest op het resultaat dat nu voor u ligt.

Hierbij heeft mijn begeleider binnen het bedrijf, Ger Kemkers, een grote rol gespeeld en middels deze weg wil ik hem dan ook bedanken voor de positieve en opbouwende feedback en pragmatische visie op de probleemstelling waar ik mee bezig ben geweest. Dit gebeurde niet alleen tijdens onze sessies op de vroege vrijdagmorgen, maar ook veelal daar buitenom.

Daarnaast wil ik mijn eerste begeleider vanuit de Universiteit Twente, Peter Schuur, bedanken voor zijn inzet. Niet alleen zijn feedback op het verslag heeft mij vooruit geholpen, maar zeker ook zijn visie op het oplossen van het nieuw voorgestelde transportprobleem is van groot nut geweest. Ook Wieteke de Kogel-Polak wil ik graag bedanken voor de nuttige feedback die via haar tot mij is gekomen op het einde.

Tenslotte wil ik graag mijn familie en vrienden bedanken voor hun mentale support en om ervoor te zorgen dat mijn gedachten niet altijd bij het afronden van mijn bachelor lagen.

Olaf Witsen

Februari 2017, Hoogeveen





Management samenvatting

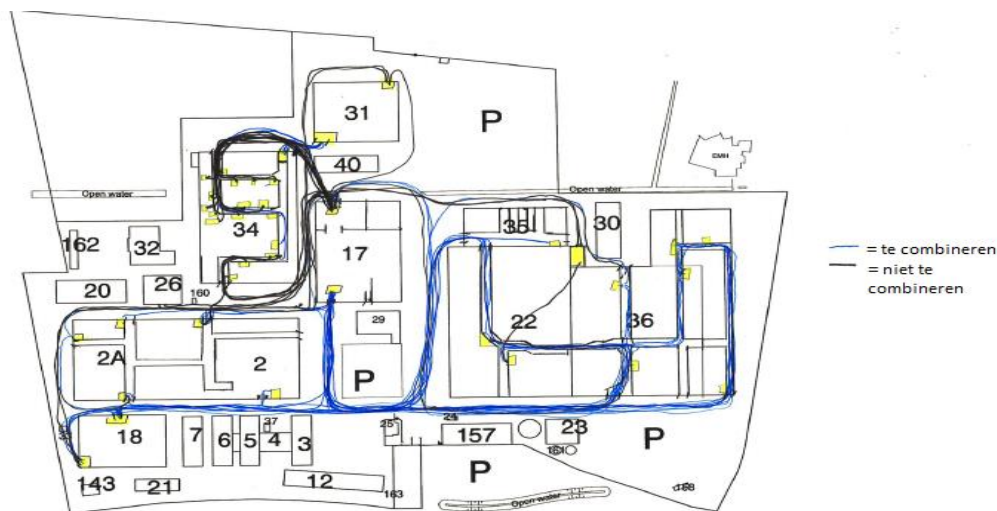
Bij Fokker Aerostructures mist het op dit moment aan structuur binnen het intern transport. Door dit gemis zijn er onnodig veel spoedtransporten op het productieterrein (verhouding tussen vast en spoedtransport wordt geschat op respectievelijk 50% tegenover 50%). Hierdoor worden de transporten te vaak niet op tijd geleverd en besluiten de productiemedewerkers zo nu en dan om zelf een transport te vervoeren onder hun arm (wat niet professioneel overkomt op de klant).

Doordat dit niet goed is, is er behoefte naar het veranderen van de manier waarop de transporten worden vervoerd. Op het moment van aanvangen werden de producten vooral op afroepbasis vervoerd. De voornaamste oorzaak van het missen van structuur valt terug te beredeneren naar het feit dat de interne transporteurs niet genoeg vaste structuren hebben in het transporteren van goederen binnen het productieterrein.

Dit leidde tot de volgende hoofdonderzoeksvraag:

Hoe kan er voor Fokker Aerostructures een adequaat spoorboekje met standaard frequenties voor de te rijden routes van gebouw tot gebouw worden opgesteld?

We hebben in kaart gebracht hoe de transportstromen lopen op het terrein en hoe de transporteurs deze in de huidige situatie vervoeren. In figuur 0-1 valt overzichtelijk te zien hoe de stroom aan goederen loopt. Hierin valt op dat in de huidige situatie er op bepaalde stroken veel gereden wordt door de transporteur. De intern transporteur is ongeveer 60% van de werktijd bezig met het transporteren over het terrein en is 40% van de tijd kwijt aan het aan- en afkoppelen van karren/producten. De tijd die de transporteur kwijt is aan het vervoeren kan worden verlaagd als er minder overbodige lijnen zullen worden gereden.



Figuur 0-1 Flow aan goederen

Om tot een oplossing te komen voor de hoofdvraag hebben we een nieuw transportprobleem ontwikkeld waarbij er tussen de verschillende productieafdelingen

producten zullen worden bezorgd (dus niet vanuit een centraal magazijn). Het nieuwe transportsysteem moet er rekening mee houden dat er van en naar allerlei afdelingen van en naar allerlei andere afdelingen dient te worden getransporteerd. Hierdoor kan er een zo goed mogelijke oplossing worden gecreëerd waarbij er uiteindelijk zo min mogelijk dikke lijnen zullen zijn zoals in figuur 0-1 te zien is en de tijd dat de interne transporteur bezig is met transporteren wordt gereduceerd.

Middels een two-stage Simulated Annealing programma hebben we gezocht naar een antwoord op de hoofdvraag. Hierbij hield de eerste fase in dat er een initiële route werd opgesteld middels het nearest insertion principe. Vervolgens werd de Simulated Annealing fase gestart. Nadat we een uitgebreid onderzoek door middel van experimenten binnen de Excel extensie Visual Basic hadden uitgevoerd om de juiste parameters te vinden, hebben we de Simulated Annealing fase met deze gevonden parameters goed tot zijn recht laten komen en is het spoorboekje opgesteld. Deze is te vinden in tabel 5-7.

Het nieuwe spoorboekje zoals dat is opgesteld, zorgt ervoor dat het werk wat op dit moment door twee vaste interne transporteurs wordt verricht, door een enkele transporteur kan worden gedaan. Dit zorgt voor een kostenbesparing van 39.900,- per jaar. Daarnaast wordt er vanuit gegaan dat er bij andere afdelingen ook voordeel wordt behaald bij het implementeren van het voorgestelde spoorboekje. Zo wordt er binnen de verschillende productieafdelingen tijd bespaard op de volgende aspecten: aanmelden van transporten als spoed, transporteren van onderdelen over het terrein onder de arm, afstemming naar vorige/volgende productieafdeling over planning productieproces, zoeken naar materiaal op het terrein. Omdat er voor deze voordelen lastig te bepalen is hoeveel deze in de praktijk zullen opleveren, zijn er drie situaties geschetst:

- Worst case scenario: de voordelen die worden behaald bij de productieafdelingen worden niet omgezet in besparingen, waardoor de kostenvoordelen blijven bij de kostenvoordelen behaald bij material handling.
- Middle case scenario: de voordelen die worden behaald bij de productieafdelingen worden deels omgezet in besparingen, waardoor er in totaal één FTE wordt bespaard binnen productie.
- Best case scenario: de voordelen die worden behaald bij de productieafdelingen worden volledig omgezet in besparingen, waardoor er in totaal twee FTE's worden bespaard binnen productie.

Tegelijkertijd zijn er kosten voor het invoeren van het voorgestelde spoorboekje. Zo zijn er kosten voor het aanschaffen van metalen frames en zijn er kosten voor het aanpassen van de transportkarren. De kosten voor de visualisatie bedragen €1.056,-. Het aanpassen van de transportkarren kost in totaal €45.580,-. In tabel 0-1 zijn de gevolgen van de geschetste scenario's naast elkaar gezet.

	Besparingen	Kosten	Totale besparing
Worst case scenario	€39.900,- per jaar	€46.636,- eenmalig	1 ^e jaar -€5.680,-, 2 ^e jaar €34.220,- daarna €39.900,- per jaar
Middle case scenario	€88.780,- per jaar	€46.636,- eenmalig	1 ^e jaar €43.200,- , daarna €88.780,- per jaar
Best case scenario	€137.660,- per jaar	€46.636,- eenmalig	1 ^e jaar €92.080,- , daarna €137.660,- per jaar

Tabel 0-1 Kostenvoordelen voorgesteld transportsysteem

Daarnaast wordt er ook op het gebied van veiligheid winst behaald met het voorgestelde routeschema. Zo kan er vanuit gegaan worden dat er op standaard momenten wordt gereden, waardoor men weet wanneer de intern transporteur langs zou moeten komen. Hierdoor wordt de kans op ongelukken minder groot.

We adviseren om het nieuwe routeschema te introduceren bij de JSF-hal om te testen of de reistijden correct zijn opgesteld en of de vraag zoals die is opgesteld, voldoende is voor de productieafdelingen. Vervolgens kan het verder uitgerold worden in achtereenvolgende volgorde op de volgende afdelingen: afdeling composieten(gebouw 22), hal 2, spuiterij en badenlijn & machining (zie voor een plattegrond met een legenda voor de gebouwen figuur 3-4).

Naast het implementeren van het nieuwe interne transportsysteem bevelen we het volgende aan:

- Verbeter de IT-infrastructuur op het terrein zodat de barcodescanners bij de gedefinieerde haltes een goede verbinding hebben.
- Zorg voor duidelijkheid middels visualisatie van het routeschema voor de productiemedewerkers en teamleiders over de nieuwe situatie.

Ook adviseren we om nog verder onderzoek te doen om op een andere manier te komen tot een oplossing voor het nieuw voorgestelde transportprobleem. Daarnaast kan er gekeken worden naar het standaardiseren van transportkarren, een kosten- batenanalyse voor het inbrengen van RFID-technologie binnen het transportsysteem, kosten-/batenanalyse voor het onderbrengen van brengplicht binnen het transportsysteem, kosten-/batenanalyse voor het (deels) asfalteren van het buitenterrein, het (deels) verplaatsen van transport naar de avonduren en tenslotte kan er gekeken worden naar de prestaties van de voorgestelde methode op lichte aanpassingen van het voorgestelde transportprobleem (zoals het verhogen van het aantal intern transporteurs, het niet direct alles laten oppakken, invoeren van time-windows en het verwerken van stochastische tijdsvensters en aanlevertijden).



Begrippen & afkortingen

Drop & pick point	Plek waar de producten in een kar worden opgeslagen
FTE	Fulltime Equivalent
Material Handling	Afdeling verantwoordelijk voor het transporteren van goederen op het terrein
PoU	Point of Use
Sabo	Samenbouw
Spijkstaalkar	Een vervoersmiddel voor de logistiek medewerker waaraan verschillende karren kunnen worden gekoppeld om te transporteren.
Spoedtransport	Transport dat niet gepland is en tussen de gestructureerde transporten door moet worden vervoerd
Stelling	Plek waar de producten worden opgeslagen
TSP	Travelling Salesman Problem
VRP	Vehicle Routing Problem
VRPMD	Vehicle Routing Problem met Mixed deliveries and Pickups
VRPSDP	Vehicle Routing Problem met Simultaneous Deliveries and Pickups
WIP	Work In Progress



Inhoudsopgave

Voorwoord	iv
Management samenvatting	vi
Begrippen & afkortingen	x
Lijst met figuren.....	xv
Lijst met tabellen	xvi
1. Inleiding.....	1
1.1. Inleiding en kader	1
1.2. Introductie Fokker	1
1.3. Aanleiding	2
1.4. Probleemkluwen.....	2
1.5. Hoofdvraag en doelstelling onderzoek.....	4
1.6. Nadere toelichting hoofdvraag.....	5
1.7. Afbakening.....	7
1.8. Deelvragen en structuur verslag	7
1.9. Plan van aanpak.....	8
1.10. Deliverables.....	9
1.11. Belanghebbenden	10
2. Theoretisch kader	11
2.1. Inleiding	11
2.2. Vanuit welke achterliggende literatuur kan het probleem benaderd worden?	11
2.2.1. Lean bij Fokker middels het Fokker Production system	11
2.3. Welk type milk-run systeem kan het beste worden gebruikt binnen het onderzoek?	12
2.4. Welke heuristieken kunnen worden gebruikt om tot een adequate route-indeling en planning te komen?	16
2.4.1. Beschrijving metaheuristieken	18
2.5. Conclusie.....	21
3. Beschrijving van de huidige situatie	23
3.1. Inleiding	23
3.2. Korte beschrijving van het huidige systeem.....	23



3.3.	In hoeverre worden er nu vaste transporten gereden?.....	25
3.4.	Hoeveel tijd zijn de logistiek medewerkers bezig met het rondrijden over het terrein en hoeveel tijd zijn ze kwijt met het af-/aankoppelen van karren en uit-/inladen van producten op hun karren?.....	27
3.5.	Hoe verloopt de flow aan goederen op het terrein?	27
3.6.	Wat zien de belanghebbenden als positieve en negatieve punten in het huidige systeem?.....	29
3.6.1.	Negatieve punten binnen het systeem	29
3.6.2.	Positief.....	31
3.7.	Hoe komt het dat er zoveel spoedtransporten zijn?.....	31
3.8.	Conclusie.....	32
4.	Afbakening systeem	33
4.1.	Inleiding	33
4.2.	Beschrijving complexiteit probleemstelling	33
4.3.	Producten die meegaan met de buslijn.....	33
4.4.	Stellingen en drop & pick points die als bushalte zullen fungeren	34
4.5.	Karren die als bus zullen worden gebruikt	36
4.6.	Verantwoordelijkheid spoedtransporten & transporten die niet meegaan op de buslijn40	
4.7.	Wat zijn de restricties voor de routes en wat zijn de voorwaarden om ze aan te toetsen?.....	40
4.8.	Conclusie.....	41
5.	Routing en schedulering	43
5.1.	Inleiding	43
5.2.	Two-stage Simulated Annealing binnen Visual Basic	43
5.3.	Setup.....	48
5.4.	Experimenten	48
5.5.	Resultaten.....	49
5.6.	Conclusie.....	57
6.	Conclusies en aanbevelingen	59
6.1.	Inleiding	59
6.2.	Conclusies	59
6.3.	Aanbevelingen	61

7. Discussie	63
7.1. Inleiding	63
7.2. Beperkingen onderzoek.....	63
7.3. Verder onderzoek.....	63
Bronvermelding.....	67
A. Bijlage A : verhouding rijden tegenover handelingen	71
B. Bijlage B. : Pseudocode Simulated Annealing.....	72
Fase 1 (nearest neighbor principe):.....	72
Fase 2 (annealing fase):	73
C. Bijlage C. : resultaten experimenten.....	75
Lineaire resultaten.....	75
Logaritmische resultaten	84
D. Bijlage D: resultaten experimenten overzichtelijk weergegeven in tabelvorm	92
E. Bijlage E: vraag tussen bushaltes	94
F. Bijlage F: Afstand tussen haltes	97

Lijst met figuren

Figuur 0-1 Flow aan goederen.....	vi
Figuur 1-1: probleemkluwen	4
Figuur 1-2: Locaties uitleg probleem.....	6
Figuur 2-1 Lean enterprise GKN (GKN).....	12
Figuur 2-2: Framework opzetten milk-run(Droste & Deuse 2011)	15
Figuur 3-1 Stelling.....	24
Figuur 3-2 Drop & Pick point (zwart omlijnd)	24
Figuur 3-3: organisatie material handling	25
Figuur 3-4 Plattegrond terrein Edisonstraat	28
Figuur 3-5 Spaghettidiagram zonder intensiteiten	29
Figuur 4-1: Plattegrond met alle bushaltes toegevoegd.....	35
Figuur 4-2: Bushaltes binnen gebouw 34 Machining.....	35
Figuur 4-3 Spijkstaalvoertuig.....	37
Figuur 4-4 transportkar 1	37
Figuur 4-5 Transportkar 2.....	38
Figuur 4-6 Transportkar 3.....	38
Figuur 4-7 Transportkar 4.....	39
Figuur 4-8 Verschil in koppeling transportkarren	39
Figuur 4-9: Nieuwe situatie organisatie material handling.....	40
Figuur 5-1 Flow chart nearest insertion	44
Figuur 5-2 Flow chart Simulated Annealing	47
Figuur 5-3 Resultaten experimenten	50
Figuur 5-4: spaghettidiagram nieuwe situatie	56
Figuur 7-1 Wegdek productieterrein, stelconplaat rood omcirkeld	65

Lijst met tabellen

Tabel 0-1 Kostenvoordelen voorgesteld transportsysteem.....	viii
Tabel 1-1: Reistijd in minuten tussen klanten.....	7
Tabel 1-2: Aantal cadeaus tussen de klanten.....	7
Tabel 2-1 Betekenis variabelen Simulated Annealing.....	19
Tabel 2-2: Voor- en nadelen heuristieken.....	20
Tabel 3-1 Spoorboekje Route 1	26
Tabel 3-2 Spoorboekje Route 2	27
Tabel 4-1 Haltes bij halte nummers	36
Tabel 5-1 Variabelen bepalen uitkomst route	45
Tabel 5-2 Variabelen bepalen kans op acceptatie route	45
Tabel 5-3 Variabelen cooling schedule	46
Tabel 5-4 Opzet experimenten.....	49
Tabel 5-5 Uitkomst voorgestelde methode cadeauprobleem	51
Tabel 5-6 Parameters Simulated Annealing	51
Tabel 5-7 spoorboekje nieuwe situatie	55
Tabel 5-8 Gevoeligheidsanalyse capaciteit	56
Tabel 6-1 Kostenvoordelen voorgesteld transportsysteem.....	61
Tabel A-1 Tijd besteed aan rijden over het terrein en het aan-/afkoppelen.....	71



1. Inleiding

1.1. Inleiding en kader

Dit verslag is geschreven in het kader van de afronding van de bachelor technische bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Hierbij wordt er gedurende een periode van tien weken een probleem uit de praktijk onderzocht en wordt er gezocht naar een passende oplossing. In dit geval vindt het onderzoek plaats bij Fokker Aerostructures binnen de afdeling material handling op de vestiging aan de Edisonstraat in Hoogeveen.

In dit hoofdstuk zal een beschrijving gegeven worden over het bedrijf waarin het onderzoek zal plaatsvinden. Vervolgens zullen we de hoofd- en deelvragen waar het onderzoek zich op zal richten definiëren. Hierna zal een nieuw type transportprobleem worden geïntroduceerd wat opgelost dient te worden om tot een passende oplossing voor de hoofdvraag te komen. Tenslotte zullen we het plan van aanpak geven voor het probleem, de deliverables van het onderzoek definiëren en zullen we kort de belanghebbenden introduceren van het probleem.

1.2. Introductie Fokker

Fokker is een bedrijf met een rijke historie. In 1910 bouwde de oprichter van het bedrijf, Anthony Fokker, zijn eerste vliegtuig. Twee jaar later besloot hij om het bedrijf Fokker op te richten. Sinds deze oprichting heeft het bedrijf zijn ups en downs gehad met als belangrijkste down, het faillissement in 1996. Bij dit faillissement zijn er echter gezonde bedrijfsonderdelen geweest die een doorstart hebben gemaakt en vanaf 1996 zijn aangestuurd door Stork.

In 2012 hebben de verscheidene business units die onder de holding Fokker vallen zich afgescheiden van Stork en die zijn verder gegaan onder de holding Fokker Technologies.

Op het moment van schrijven is Fokker Technologies een jaar geleden overgenomen door GKN Aerospace voor een bedrag van 706 miljoen euro. Fokker Technologies telde in 2014 ongeveer 4900 werknemers en bestaat uit 4 verschillende businessunits (Fokker Aerostructures, Fokker Elmo, Fokker Landing Gear en Fokker Services) met bij elkaar opgeteld een omzet van 769 miljoen euro in 2014. Het bedrijf is een specialist in het ontwerpen, ontwikkelen en produceren van lichtgewicht luchtvaartonderdelen, elektrische bedrading, systemen die onderling verbonden zijn en landingsgestellen voor de commerciële en militaire luchtvaartindustrie. Hiernaast levert het bedrijf ook onderhouds-, aanpassings- en logistieke diensten aan vliegtuigbezitters en operators. Samenvattend kan worden gezegd dat Fokker slimme, geïntegreerde, economische oplossingen levert dat technologische voordelen oplevert op het gebied van kosten, gewicht en beschikbaarheid (Fokker Technologies, 2014).

De business unit binnen Fokker Technologies waar het onderzoek zich op zal gaan richten, is Fokker Aerostructures, een business unit waarin technologie centraal staat. De volgende technieken die worden gebruikt binnen het bedrijf zijn voorbeelden van deze technologische focus:



- Metal Bonding
- Glare (tevens een uitvinding van Fokker Aerostructures)
- Thermoset
- Thermoplastics

Fokker Aerostructures is een toonaangevend specialist in lichtgewicht structuren en een grote aanwezigheid in de wereld met vestigingen in Amerika, Mexico, Roemenië en Nederland. Enkele klanten waar Fokker Aerostructures voor produceert zijn: Airbus, Boeing, Lockheed Martin, Gulfstream en NH industries (Fokker Aerostructures, 2013).

Dit onderzoek zal zich richten op de vestiging in Hogeveen. Deze vestiging telt ongeveer 1000 werknemers en staat bekend als het excellence center binnen Fokker Technologies. Op deze vestiging vinden onder ander de volgende activiteiten plaats: het produceren van lichtgewicht composieten, het verspanen van metaal en het assembleren en produceren van producten voor de militaire luchtvaartindustrie (denk bij deze categorie aan onderdelen voor een Ariane raket, PAC3 en de MALD).

1.3. Aanleiding

De afgelopen jaren is de vestiging in Hogeveen van Fokker Aerostructures flink gegroeid op het gebied van productieaantallen. Door deze groei is het bedrijventerrein steeds voller geworden en zijn er daardoor allerlei problemen naar voren gekomen. Eén van deze problemen gaat over het missen van structuur in het interne transport. In het verleden zijn hier al verscheidene onderzoeken naar geweest, maar deze hebben nog niet geleid tot een bruikbare oplossing. Vandaar dat de logistiek manager met de opdracht is gekomen om verder onderzoek te doen op dit gebied met als doel om uiteindelijk tot een oplossing te komen die in de praktijk een nuttige toevoeging zou hebben vergeleken met de huidige situatie.

1.4. Probleemkluwen

Het hoofdprobleem dat zal worden aangepakt tijdens het onderzoek was vastgesteld voordat de opdrachtnemer een start had gemaakt met het onderzoek. Desondanks is er wel een probleemkluwen opgesteld om inzicht te krijgen in het probleem en om te kijken naar mogelijke oorzaken van het probleem. Helemaal onderaan in deze probleemkluwen zijn de problemen weergegeven die aangepakt kunnen worden om tot een oplossing voor het hoofdprobleem te komen.

Zoals beschreven staat bij paragraaf 1.2., gaat op dit moment nog niet alles goed binnen het interne transport op de vestiging van Fokker Aerostructures aan de Edisonstraat in Hogeveen.

Een van de problemen binnen de vestiging is dat er relatief veel spoedtransporten zijn. Dit zorgt ervoor dat er veel transporten op ad hoc basis plaats vinden. In hoofdstuk 3 zal dit nader toegelicht worden. Doordat er veel spoedtransporten zijn, kan niet elk spoedtransport gelijk behandeld worden en worden er spoedtransporten te laat afgeleverd. Ook komt het

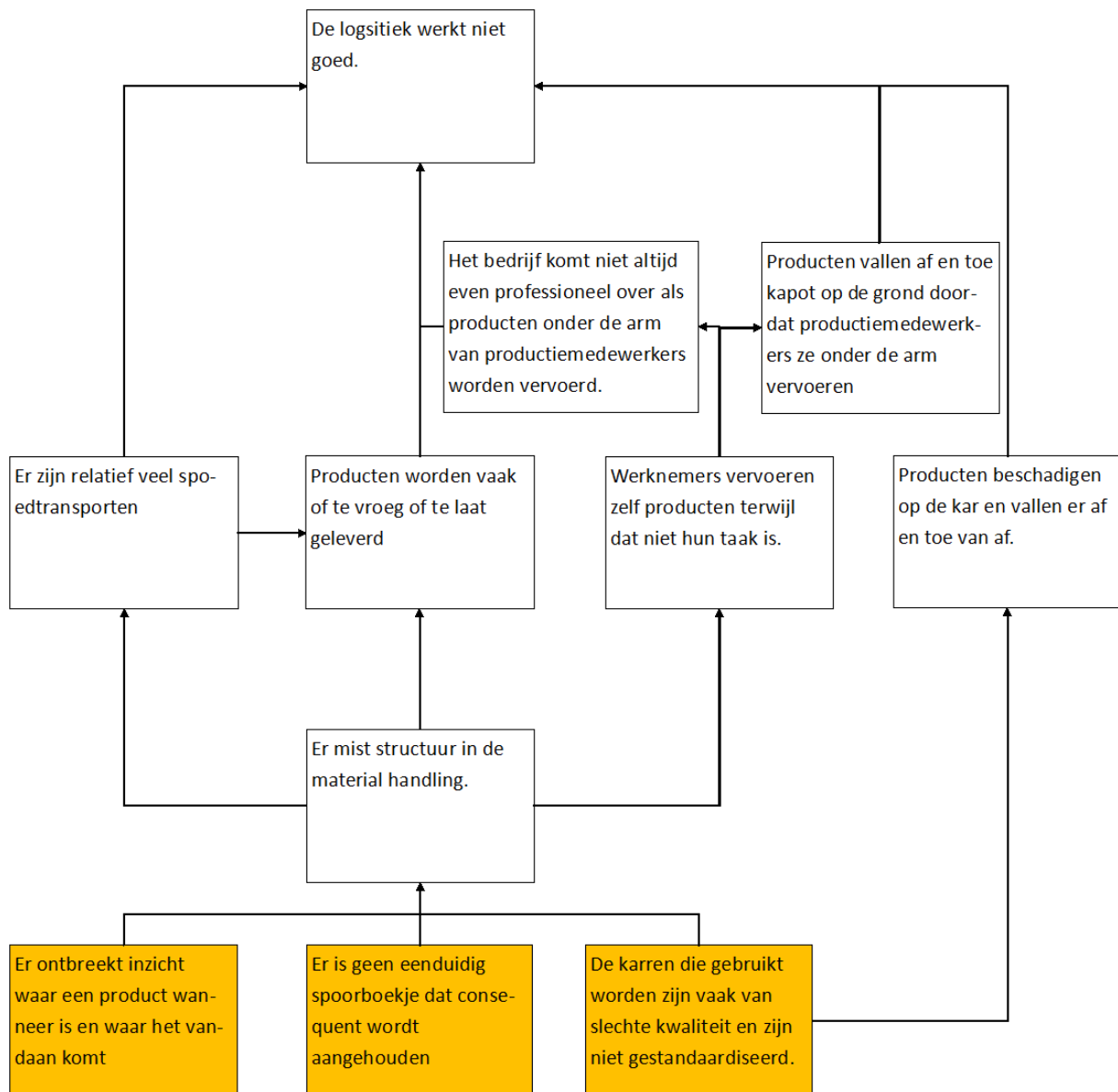


voor dat een spoedtransport wordt doorgegeven als spoedtransport om het product wat gereed is maar zo snel mogelijk naar de volgende afdeling te krijgen, terwijl dit niet altijd nodig is. Dit zorgt ervoor dat er onnodig snel een product wordt afgeleverd op een bepaalde afdeling, terwijl er op de volgende afdeling niet verder kan worden gegaan met de volgende productiestap van het product.

Een ander probleem dat speelt, is dat er productiemedewerkers zijn die besluiten zelf producten te vervoeren naar een volgende productiestap in een ander gebouw. Omdat de producten die geproduceerd worden relatief dure producten zijn en vaak in de tienduizenden euro's kosten kan het economisch zeer schadelijk zijn als een medewerker het product per ongeluk laat vallen. Daarnaast komt het niet professioneel op de klanten van Fokker over als die op bezoek komen en zien hoe de producten die voor hen geproduceerd worden, worden vervoerd onder de armen van productiemedewerkers. Een ander nadeel aan het feit dat productiemedewerkers producten vervoeren, is dat ze niet bezig zijn met het produceren van goederen (hetgene waar ze voor zijn aangenomen). Bij paragraaf 2.7. wordt dit onderwerp meer in detail besproken.

Verder rijden de logistiek medewerkers rond met karren die niet altijd geschikt zijn voor de producten die vervoerd worden. Hierdoor komt het voor dat er beschadigingen op de producten komen tijdens het transporteren van deze producten. Daarnaast zijn er veel verschillende soorten karren voor verschillende producten, terwijl het niet altijd nodig is dat er voor sommige producten een apart type kar wordt aangeschaft/gebruikt.

Het probleem dat er structuur ontbreekt in het transporteren van goederen wordt niet alleen veroorzaakt door de afdeling van material handling, maar ook voor een groot deel door de productiemedewerkers.



Figuur 1-1: probleemkluwen

1.5. Hoofdvraag en doelstelling onderzoek

Het probleem dat er geen eenduidig spoorboekje is waar de transporteurs zich aan houden, kiezen we als het hoofdprobleem. Voor aanvang van het onderzoek was al vastgesteld door de opdrachtgever dat het onderzoek zich hierop zal focussen. Hierbij heeft de opdrachtgever ook de boodschap meegegeven dat het intern transport gevormd zal moeten worden volgens een milk-run model. Toelichting op dit type systeem zal gegeven worden in hoofdstuk 2.

In het verleden zijn er al verschillende (afstudeer)stagiaires geweest binnen het bedrijf die met dit probleem bezig zijn geweest, maar zij zijn er niet in geslaagd om het volledig op te lossen. Wel kunnen er bepaalde resultaten van deze onderzoeken mee worden genomen in dit onderzoek.

Het onderzoek zal benaderd worden volgens de algemene bedrijfsaanpak van Heerkens & Van Winden. In de algemene bedrijfsaanpak worden in het oplossen van een probleem de volgende zeven fasen gedefinieerd (Heerkens & Van Winden, 2012):

1. De probleemidentificatie
2. De formulering van de probleemaanpak
3. De probleemanalyse
4. De formulering van alternatieve oplossingen
5. De beslissing: het kiezen van een oplossing
6. De implementatie van de oplossing
7. De evaluatie van de oplossing

Er kan gezegd worden dat er al een beslissing genomen is voor het systeem dat het probleem moet gaan oplossen en het probleem zich daarom in fase zes bevindt van de algemene bedrijfsaanpak. Deze oplossing is: het bedrijf wil een milk-run of vergelijkbaar systeem uitrollen om meer structuur aan te brengen aan het interne transport. Binnen het implementeren van dit systeem moet er echter onderzoek gedaan worden hoe dit grondig en adequaat kan worden gedaan.

Middels de probleemkluwen en de opdracht die is meegegeven vanuit de opdrachtgever, zijn de volgende doelen van het onderzoek opgesteld:

- Het opstellen van een spoorboekje met standaard frequenties dat gevolgd zal worden door de logistiek medewerker(s).
- Het reduceren van het aantal spoedtransporten.
- Het reduceren van het aantal transporten dat door de productiemedewerkers tussen de verschillende gebouwen op het bedrijventerrein plaatsvindt.

De hoofdvraag zal dan ook als volgt luiden:

Hoe kan er voor Fokker Aerostructures een adequaat spoorboekje met standaard frequenties voor de te rijden routes van gebouw tot gebouw worden opgesteld?

1.6. Nadere toelichting hoofdvraag

Deze vraag brengt echter bepaalde complicaties met zich mee. Om een idee te krijgen van de complexiteit van het probleem wordt er hier een soortgelijk probleem geïntroduceerd.

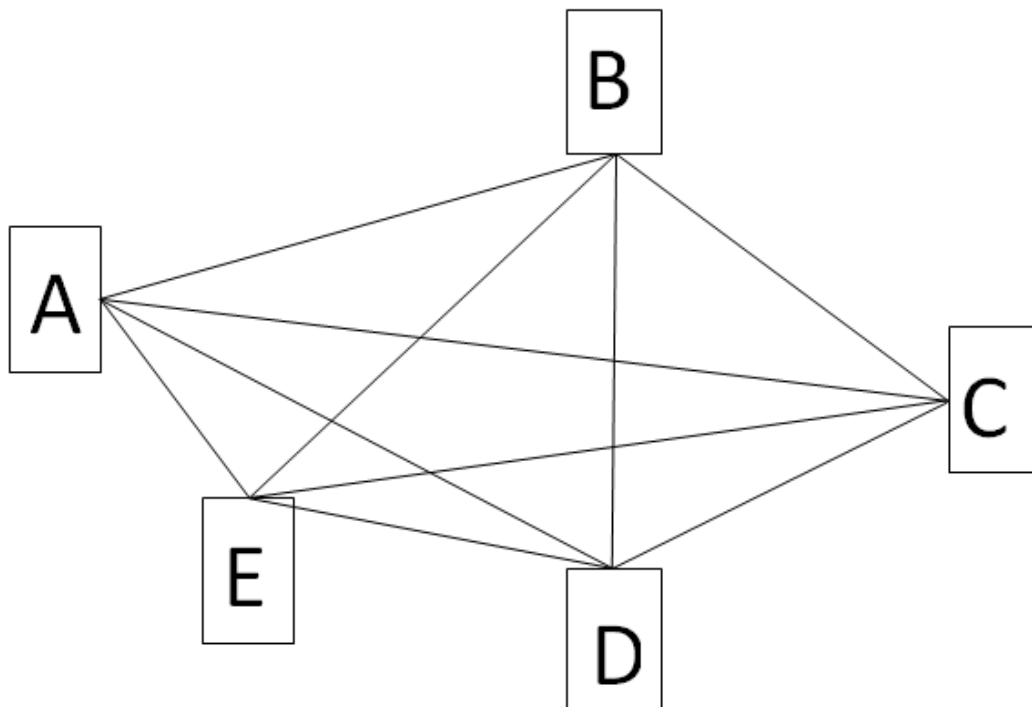
Stel je het volgende voor: je bent een pakketdienst en tijdens de feestdagen wordt er van je verwacht dat je cadeaus bezorgt voor je klanten. Deze klanten geven aan sommige klanten een cadeau en ontvangen van enkele klanten een cadeau. De taak als pakketbezorger is om alle pakketjes op tijd te bezorgen en hierbij is het je doel om dit zo snel mogelijk te doen.

Er zijn verschillende methodes bekend waarmee je dit zou kunnen doen. De cadeaus kunnen steeds direct van klant tot klant worden bezorgd, de cadeaus kunnen worden opgehaald bij een klant en vervolgens verdeeld worden over de klanten die een cadeau krijgen van een

klant of ze kunnen eerst worden opgehaald bij alle klanten vervolgens worden gebracht naar een magazijn en waarvandaan ze weer verdeeld worden over de klanten.

In dit onderzoek wordt er echter een nieuwe methode voorgesteld om de cadeaus te bezorgen die deels lijkt op de tweede en de derde methode. Hierbij worden bij een klant de cadeaus opgehaald en tegelijkertijd worden de cadeaus voor de klanten bezorgd die de chauffeur al bij zich heeft. Hierbij wordt rekening gehouden met de capaciteit van de bezorgbus van de bezorgdienst.

Zie voor een voorbeeld van het probleem figuur 1-2 waarin de locaties van de klanten Anna, Bernard, Cornelis, Dirk en Eduard zijn weergegeven. In dit probleem geldt dat de transporteur maximaal 4 pakketjes tegelijk in de bezorgbus kan hebben. Deze capaciteit is belangrijk vanwege het feit dat die het probleem in dit geval nieuw en een stuk complexer maakt.



Figuur 1-2: Locaties uitleg probleem

In tabel 1-1 is de reistijd in minuten tussen de klanten weergegeven en in tabel 1-2 wordt weergegeven hoeveel cadeaus wie aan wie geeft.

Reistijd Van/Naar	Anna	Bernard	Cornelis	Dirk	Eduard
Anna	-	3,5	6	4	2
Bernard	3,5	-	3	3,5	3,5
Cornelis	6	3	-	3	4,5

Dirk	4	3,5	3	-	2
Eduard	2	3,5	4,5	2	-

Tabel 1-1: Reistijd in minuten tussen klanten

Cadeaus Van/Aan	Anna	Bernard	Cornelis	Dirk	Eduard
Anna	-	1	2	3	0
Bernard	0	-	3	2	1
Cornelis	0	2	-	1	1
Dirk	4	1	0	-	2
Eduard	1	2	2	0	-

Tabel 1-2: Aantal cadeaus tussen de klanten

Bij het echte probleem zijn de klanten geen personen, maar productieafdelingen en zijn de pakketjes geen cadeaus maar karren met één of meerdere producten.

Dit probleem is voorgelegd aan een aantal studiegenoten in de eindfase van hun bachelor. Van deze personen was het beste resultaat waar iemand tot was gekomen 50,5 minuten. De helft van de personen aan wie het probleem is voorgelegd was echter niet in staat om binnen een periode van een uur tot een oplossing te komen. Dit geeft de complexiteit van het probleem al enigszins weer. Later zullen we toelichten welke oplossing wij hebben verkregen met de methode die wordt voorgesteld om tot een oplossing voor dit type probleem te komen.

1.7. Afbakening

Wegens de gelimiteerde tijd die in het onderzoek kan worden gestopt, kan niet elk probleem worden onderzocht en zal er een keuze worden gemaakt in de diepte en de breedte waartoe het onderzoek zich zal betrekken. De diepte van het onderzoek zal zich beperken tot het opleveren van een dienstregeling samen met een heuristiek waarmee in de toekomst bij aanpassingen weer een nieuwe dienstregeling kan opstellen voor de vestiging op de Edisonstraat in Hoogeveen. Daarnaast zal het onderzoek zich in de breedte beperken tot het probleem wat gekozen is in de probleemkluwen. De andere twee problemen onderaan in de probleemkluwen kunnen bij verder onderzoek nog onderzocht worden.

1.8. Deelvragen en structuur verslag

Om tot een goed antwoord te komen op de hoofdvraag, zal het probleem worden opgedeeld in een aantal deelvragen. Deze deelvragen zijn weer opgedeeld in subvragen om voor meer structuur in het onderzoek te zorgen. Achter de vragen is weergegeven in welk hoofdstuk/paragraaf de verschillende vragen beantwoord worden.

1. Welke achterliggende literatuur kan er gebruikt worden om tot een adequaat spoorboekje met standaard frequenties te komen (H2)?

1.1. Waar komt lean vandaan en hoe wordt het binnen het bedrijf toegepast (§2.2.)?

- 1.2. Welke keuzes kunnen er worden gemaakt binnen een milk-run systeem (§2.3)?
- 1.3. Wat voor heuristieken kunnen er toegepast worden om tot een adequate routing en scheduling te komen (§2.4)?
2. Hoe ziet het interne transport er op het moment van aanvangen van het onderzoek uit (H3)?
 - 2.1. *In hoeverre worden er nu vaste transporten gereden (§3.3)?*
 - 2.2. *Hoeveel tijd zijn de logistiek medewerkers bezig met het rondrijden over het terrein en hoeveel tijd zijn ze kwijt met het af-/aankoppelen van karren en uit-/inladen van producten op hun karren (§3.4)?*
 - 2.3. *Hoe verloopt de flow aan producten op het terrein (§3.5)?*
 - 2.4. *Wat zien de belanghebbenden als positieve en negatieve punten in het huidige systeem (§3.6)?*
 - 2.5. *Hoe komt het dat er zoveel spoedtransporten zijn (§3.7)?*
3. Welke randvoorwaarden worden er gesteld aan het opstellen van een nieuw systeem en hoe kan het beschreven worden (H4)?
 - 3.1. *Welke producten gaan er vervoerd worden door de logistiek medewerkers (§4.3)?*
 - 3.2. *Welke stellingen/drop & pick points zullen als bushaltes gaan fungeren (§4.4)?*
 - 3.3. *Welke karren zullen worden gebruikt voor de routes (§4.5)?*
 - 3.4. *Wie neemt de verantwoordelijkheid op zich voor de transporten die niet meer door de logistiek medewerkers zullen worden gedaan (inclusief spoedtransporten) (§4.6)?*
 - 3.5. *Wat zijn restricties voor de routes en wat zijn de voorwaarden om ze aan te toetsen (§4.7)?*

Hierna zullen de routes worden opgesteld en zullen de tijden worden bepaald die logistiek medewerkers moeten aanhouden om hun route te rijden (H5).

4. In hoeverre wordt er met het opgestelde systeem vooruitgang geboekt op de eerder geformuleerd vlakken (H6)?

1.9. Plan van aanpak

Elke deelvraag wordt systematisch onderzocht om tot een antwoord op de vraag te komen. In deze paragraaf wordt per deelvraag kort uiteen gezet hoe dit gaat gebeuren.

Welke achterliggende literatuur kan er gebruikt worden om tot een adequaat spoorboekje met standaard frequenties te komen?

Het model van Webster & Watson (Webster & Watson, 2002) wordt gebruikt voor het literatuuronderzoek in dit verslag. Het doel achter het literatuuronderzoek is drieledig. Ten eerste dient het tot het scheppen van duidelijkheid over theorieën die invloed uitoefenen op het onderzoek. Ten tweede kan er middels de beschikbare theorieën gekeken worden naar

de verschillende milk-run systemen die er zijn en om te kijken welk hiervan het beste aansluit bij de situatie van Fokker Aerostructures. Het laatste doel is om duidelijkheid te krijgen over de beschikbare heuristieken die toegepast kunnen worden op het opstellen van de routes en de schema's van het rijden van de routes. Vanwege het feit dat er een nieuw type probleem wordt geïntroduceerd, zal het lastig zijn om nuttige literatuur te vinden. Toch zal dit geprobeerd worden door literatuur te lezen met betrekking tot het 'vehicle routing problem'. Dit zal nader worden toegelicht in hoofdstuk 2.

Hoe ziet het interne transport er op het moment van aanvangen van het onderzoek uit?

Deze vraag heeft als doel om beter inzicht in het probleem te krijgen en om te kijken waar er voornamelijk verbeteringen kunnen worden gemaakt. Dit wordt gedaan middels het interviewen van betrokkenen bij het proces binnen Fokker Aerostructures. Daarnaast zal er data worden verzameld uit deze interviews wat de basis zal vormen voor het opstellen van de routes en de schema's van de reistijden.

Welke randvoorwaarden worden er gesteld aan het opstellen van een nieuw systeem en hoe kan het nieuwe systeem beschreven worden?

Hier wordt er een selectie gemaakt in de producten en haltes die zullen worden gebruikt in het nieuwe systeem. Ook worden de belangrijke criteria die gevonden zijn bij het literatuuronderzoek opgesteld voor het nieuwe systeem. Tenslotte wordt dit nieuwe systeem gedefinieerd en dit zal gebeuren op basis van de gevonden literatuur bij het literatuuronderzoek.

Het opstellen van de routes met bijbehorende schema's

Op basis van de heuristieken die zijn geselecteerd bij het literatuuronderzoek, op basis van de data die verzameld bij de deelvraag over de huidige situatie en op basis van de criteria die zijn opgesteld om de routes en schema's op te testen zal een spoorboekje worden opgesteld.

Wordt er met het opgestelde systeem vooruitgang geboekt op de eerder geformuleerd vlakken?

Er wordt bij deze deelvraag gekeken naar het resultaat wat behaald is door middel van het opstellen van het spoorboekje. Hierbij zal gekeken worden op de aspecten die als doelstellingen zijn gedefinieerd bij paragraaf 1.4.

1.10. Deliverables

Aan het einde van het onderzoek zullen de volgende zaken worden opgeleverd:

- Een spoorboekje met hierin duidelijke richtlijnen voor de logistiek medewerkers met standaard frequenties en duidelijk aangegeven hoe de spoedtransporten zullen worden opgepakt

- Een heuristiek waarmee in de toekomst in Excel eenvoudig de route weer kan worden bepaald in het geval van een nieuw productieprogramma dat wordt gestart of een aanpassing in de layout op het terrein of binnen een gebouw.

1.11. Belanghebbenden

Binnen Fokker zijn er verschillende belanghebbende met het probleem. De volgende groepen kunnen als belangrijkste belanghebbenden worden gezien van dit probleem:

1. Ger Kemkers (opdrachtgever)
2. Het management team van Fokker Aerostructures Hoogeveen (hierin wordt uiteindelijk de knoop doorgemaakt of het al dan wel of niet wordt uitgevoerd)
3. De logistiek medewerkers (zij moeten werken met het uiteindelijke plan)
4. De productiemedewerker met hun teamleiders en planners (material handling levert aan deze medewerkers en moeten vervolgens produceren met de goederen die geleverd worden)
5. Ikzelf (opdrachtnemer)

2. Theoretisch kader

2.1. Inleiding

In dit hoofdstuk zal er onderzocht worden welke theorieën en modellen in het verleden al zijn opgesteld en welke ook van nut kunnen zijn voor dit onderzoek. Het literatuuronderzoek heeft als hoofddoel om over de volgende drie onderwerpen informatie te verzamelen:

- Lean management
- Milk-run concepten
Het uiteenzetten van de verschillende mogelijkheden om een milk-run systeem toe te passen en de voor- en nadelen hiervan noemen
- Theorieën over het opstellen en samenstellen van routes en tijdschema's.
Welke wiskundige modellen zijn er in het verleden opgesteld en kunnen er nu worden gebruikt om tot een adequaat spoorboekje te komen?

Het model dat gebruikt gaat worden om het literatuuronderzoek te doen, is dat van Webster & Watson (2002). Hiervoor zijn eerst zoektermen opgesteld naar aanleiding van de doelstellingen die zijn gesteld voor het onderzoek. Hier zijn criteria bij opgesteld om de gevonden verslagen te beoordelen en te besluiten om ze in te sluiten of uit te sluiten.

Op basis van deze criteria en het onderzoeksontwerp is er binnen de databases van FindUT, Scopus en Web of Science gezocht naar relevante wetenschapsliteratuur. Tenslotte is er gekeken of de artikelen die de gevonden artikelen citeren relevant zijn en of er in de gevonden literatuur eventuele relevante bronnen worden aangehaald.

2.2. Vanuit welke achterliggende literatuur kan het probleem benaderd worden?

2.2.1. Lean bij Fokker middels het Fokker Production system

Binnen Fokker Aerostructures wordt geprobeerd om het productieproces vanuit een lean-perspectief te benaderen. Het lean gedachtegoed is ontstaan uit het boek 'Toyota Production System' (Ohno, 1988). De term Lean wordt voor het eerst genoemd in de 'Triumph of the Lean Production System' (Kracik, 1988). Lean wordt in het boek 'Operations management' als volgt gedefinieerd:

"Lean synchronization aims to meet demand instantaneously, with perfect quality and no waste". (Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2013)

Binnen Fokker Aerostructures wordt er vanuit verschillende productiemanager posities geprobeerd het lean-perspectief hoog te houden en deze zijn ook deels verantwoordelijk voor het hanteren van de lean-principes. Ook binnen GKN, het bedrijf dat de holding Fokker Technologies in 2015 heeft overgenomen, speelt Lean een belangrijke rol. In figuur 2-1 is grafisch weergegeven hoe GKN het bedrijf vanuit organisatorisch perspectief Lean maakt.



Figuur 2-1 Lean enterprise GKN (GKN)

Door Ohno worden zeven verschillende typen 'waste' gedefinieerd. Een van die typen is het minimaliseren van de transportkosten en transporttijd. Ohno zegt dat het opnieuw inrichten van de layout van het terrein en het verbeteringen in transportmethodes allebei kunnen bijdragen aan het minimaliseren van 'waste'. In dit onderzoek zal gekeken worden naar het verbeteren van de transportmethodes binnen de productieomgeving.

2.3. Welk type milk-run systeem kan het beste worden gebruikt binnen het onderzoek?

Er zijn vier verschillende vormen van distributiemogelijkheden (Chopra & Meindl, 2007): direct shipment network, direct shipping with milk runs, all shipments via central dc, tailored network. Vanuit de opdracht zoals die is meegegeven door de opdrachtgever is het de wens om een transportsysteem op te richten wat gebaseerd is op het milk-run principe. Vandaar dat we hebben gezocht naar relevante literatuur hierover. Zoals eerder vermeld in paragraaf 1.6. zijn er echter wel enkele verschillen met het milk-run systeem en het systeem zoals dat zal worden opgesteld voor Fokker. In deze paragraaf zal eerst kort achtergrond informatie over de afdeling material handling worden gegeven en zal er vervolgens meer in detail gekeken worden naar de mogelijkheden voor het opstellen van een milk-run systeem binnen een productieterrein. De keuzes die uiteindelijk gemaakt zullen worden voor de gegeven mogelijkheden, zullen worden beschreven en toegelicht in hoofdstuk 4.

Binnen material handling zijn er een aantal doelstellingen die nagestreefd dienen te worden (Sule, 1994):

- Verhogen van efficiëntie binnen de flow aan materialen door de benodigde materialen te leveren wanneer en waar dat nodig is
- Het verlagen van de kosten van materiaal beheer
- Het verhogen van de efficiëntie van het gebruik van de voertuigen die gebruikt worden voor intern transport (Spijkstaalkarren/heftrucks)
- Het verbeteren van de veiligheid en de werkomstandigheden
- Het vergemakkelijken van het productieproces
- Het verhogen van de productiviteit

Thompkins et al. zeggen dat de material handling afdeling van een productiebedrijf tussen de 20 en 50% van de totale productiekosten omvat. Als de material handling anders wordt ingericht kunnen deze kosten worden beperkt tot 10-30% van de totale productiekosten (Thompkins, White, Bozer, & Tanchoco, 2010). Het implementeren van een milk-run systeem binnen een productieomgeving kan bijdragen aan het behalen van deze besparing.

Gemiddeld gezien omvat material handling 25% van de werknemers, 55% van het fabrieksterrein en 87% van de productietijd (Hiregoudar & Reddy, 2007). Uit weer een ander onderzoek blijkt dat de implementatie van een milk-run systeem binnen een productiefabriek in de auto-industrie kan lijden tot een stijging van 20% in productiviteit, tot een daling van 20% in de WIP (work in progress) en dat er bij het produceren minder fouten worden gemaakt (een stijging van 35% wat in één keer wordt goed gekeurd). (Marchwinski, 2003).

Het milk-run systeem heeft zijn naam te danken aan de vroegere melkmannen die in de ochtend bij de huizen van hun klanten langsgaan om flessen melk te bezorgen als er lege flessen voor de voordeuren van hen staan. Inmiddels heeft het milk-run principe een breed draagvlak gevonden binnen productiebedrijven en wordt het het meest toegepast binnen de auto-industrie (Sadjadi, Jafari, & Amini, 2008). Het kostenvoordeel van een milk-run systeem met kleine afstanden en hoge afleverfrequentie en -waarde is opmerkelijk (Sadjadi, Jafari, & Amini, 2008) en is daarom een nuttig systeem voor productiebedrijven waar dit het geval is.

Er zijn verschillende opvattingen over het milk-run principe en hoe het wordt toegepast. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- “In a basic MR system, material handlers perform standard routes through a facility at precisely determined time intervals. During this interval the material handlers pick up containers at a central storage area (a “supermarket”), follow predetermined, standard routes, deliver the materials to the POUs and return to the supermarket.” (Klenk, Galka, & Gunther, 2015)
- “Hence, the characteristics of the MR system we study can be summarized as follows: one or more material handlers (also known as tugger/tractor drivers) travel a pre-determined route while pulling elephant-chained carts (or trailers) loaded with containerized parts that are picked up from a central storage area (the SM) and dropped off at WSs located along the route. Typically, each route starts and ends at the SM, and as explained above, each route is executed at pre-determined time intervals that are exact.” (Bozer & Ciernoczekowski, 2013)
- “For the industrial park environment discussed in this paper, a milk-run logistics (MRL) is defined as a materials collection or distribution process where a logistics company picks up goods from the suppliers according to the material requirement, and send them to the manufacturers via a planned transportation route.” (Qu, Fu, Huang, Luo, & Huang, 2014)

In deze teksten valt op dat er wordt gesproken over van tevoren opgestelde routes en tijden waarop de transporteur de goederen komt bezorgen en ophalen. Een verschil dat plaatsvindt in het op te stellen systeem voor Fokker is dat daar niet alle materialen vanuit een enkel magazijn zullen worden verdeeld, maar dat die ook vanuit de verschillende locaties op het bedrijventerrein zullen worden opgehaald.

Enkele taken die tot een milk-run systeem behoren bestaan uit (Droste & Deuse, 2011):

- Het aankoppelen van karren/inladen van materiaal op het voertuig.
- Het transporteren van het materiaal naar de PoU (point of use).
- Het afleveren van de materialen op de PoU.
- Het wegbrengen van de lege kisten/karren op de werkplaats.
- Het transporteren van de lege kisten/karren.
- Het afleveren van de lege kisten/karren bij de afleverlocatie.

Bij dit systeem wordt er uitgegaan van een centraal magazijn waar alle goederen worden geladen en vervolgens worden verdeeld over de verscheidene afleverpunten. Voor Fokker is het echter niet het geval dat de producten vanuit het magazijn zullen worden afgeleverd, maar zullen er vanuit verschillende punten producten worden opgehaald en afgeleverd. Hierdoor is het nodig dat het de taken opgesteld door Droste & Deuse zullen worden aangepast tot een takenlijst die past voor de situatie bij Fokker.

Door gebruik te maken van een milk-run systeem binnen de productievloer wordt het proces van aanleveren van goederen gestandaardiseerd en wordt het daardoor makkelijker uit te voeren en te controleren (Domingo, Alvarez, Melodia Pena, & Calvo, 2007).

Voor het opzetten van een milk-run model hebben Harris & Harris een model ontwikkeld waarin de volgende fasen zijn gedefinieerd (Harris & Harris, 2004):

1. Opstellen van een plan voor elk onderdeel
2. Opzetten van een magazijn
3. Ontwerpen van de routes
4. Implementeren van 'pull' signalen (kanban)
5. Doorlopend het systeem verbeteren

Binnen het opzetten van een milk-run systeem bij Fokker is het echter een ondoenlijke taak om voor elk onderdeel de flow in kaart te brengen, gezien het aantal type onderdelen wat op het terrein wordt geproduceerd. In hoofdstuk 4 zullen we echter wel in kaart brengen hoe bepaalde productgroepen over het terrein lopen. Daarnaast is bij Fokker een magazijn al ontworpen en kan deze stap overgeslagen worden. Dit onderzoek zal zich voornamelijk richten op het ontwerpen van de routes.

Het principe van een milk-run systeem binnen een productieterrein is relatief nieuw. De complexiteit ervan wordt nog niet voldoende beschreven in de literatuur (Alnahhal, Ridwan, & Noche, 2014). In dit verslag zal een model gegeven worden wat in de praktijk gebruikt zal

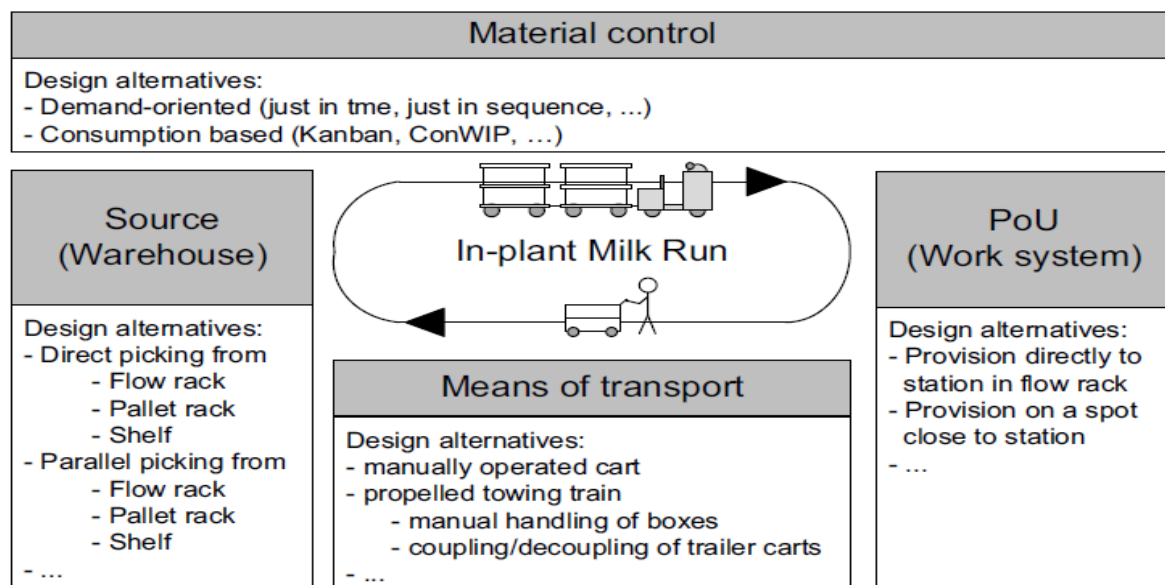
worden voor een many to many milk-run systeem binnen een productieterrein. Ciernoczolowski & Bozer geven aan dat dit een interessant gebied is voor verder onderzoek (Ciernoczolowski & Bozer, 2013)

Er zijn een aantal verschillende typen milk-run systemen die in gebruik zijn. Binnen Toyota wordt er een vanuit een enkel magazijn naar meerdere lijnen systeem en van meerdere lijnen naar een enkel magazijn gebruikt (Nemoto, Hayashi, & Hashimoto, 2010). Hiernaast bestaat er het model waarbij er vanuit meerdere magazijnen naar meerdere productieafdelingen geleverd wordt (Berman & Wang, 2006). Uit verder onderzoek blijkt dat dit laatste model superieur is (Lin, Bian, Sun, & Xu, 2015)

Op de volgende gebieden kunnen er keuzes worden gemaakt bij het opzetten van een milk-systeem (Alnahhal, Ridwan, & Noche, 2014):

- Het kiezen van een transportband
- Het kiezen van vraag georiënteerd systeem of een kanban systeem
- Aantal kanbans in het systeem bij een kanban systeem
- Het type treinen bepalen (heftruck of tugger)
- Routing probleem
- Scheduling probleem
- Het bepalen van een service periode
- Laad probleem
- De frequentie van de routing
- Service level voor de onderdelen

Ook kan het opzetten van een milk-run systeem binnen een fabrieksterrein gezien worden binnen het volgende framework (Droste & Deuse, 2011):



Figuur 2-2: Framework opzetten milk-run(Droste & Deuse 2011)

Het hoofdprobleem bij het opstellen van een milk-run systeem is het bepalen van routes en de bijbehorende tijdsintervallen waarop ze plaatsvinden. Hiervoor zijn drie categorieën opgesteld (Kilic, Bulent Durmusoglu, & Baskak, 2012):

- General assignment problem (routes onbekend en tijdsintervallen onbekend)
- Dedicated assignment problem (routes bekend, maar tijdsintervallen onbekend)
- Determined time periods assignment problem (routes onbekend, maar tijdsintervallen bekend)

In het geval van dit onderzoek zal het gaan om een general assignment problem. Binnen het probleem van het kiezen van een voertuig zijn er een aantal keuzes die gemaakt kunnen worden. Dit zijn de volgende (Kilic, Bulent Durmusoglu, & Baskak, 2012):

- Multiple routed vehicles vs one routed vehicles (voertuigen hebben meerdere routes of maar een standaard route)
- Equal time periods versus different time periods (Routes worden op standaardtijden gereden of op verschillende)

Voor deze keuzes geldt dat hoe meer standaard de keuze hoe beter het systeem in de lean-gedachte past. Dit hoeft echter niet altijd voor elk bedrijf de beste keuze te zijn (Kilic, Bulent Durmusoglu, & Baskak, 2012).

Ook kan er een keuze gemaakt worden op het gebied van het definiëren van een item (Thompkins, White, Bozer, & Tanchoco, 2010). Hierbij is het de keuze of je per item individueel de flow gaat achterhalen, of je dit enigszins groepeerd (bijvoorbeeld items die bij elkaar in een bakje in een kar worden gestopt) of dat er vele items samen worden gedefinieerd (bijvoorbeeld een kar in zijn geheel).

Er zijn twee strategieën om om te gaan met de handling van goederen bij aflever- en ophaalpunten. Het losmaken van de lading bij het afleverpunt of het uitladen van een lading bij een afleverpunt (Kopecek & Pinte, 2014).

Tenslotte wordt aangeraden om voor verschillende routes verschillende kleuren te gebruiken bij de stellingen en drop & pick points waar de materialen worden opgehaald/gebracht (Alnahhal & Noche, 2015).

2.4. Welke heuristieken kunnen worden gebruikt om tot een adequate route-indeling en planning te komen?

Er kan worden gezegd dat het probleem van het opstellen van een routeschema voor het voorgestelde probleem naar alle waarschijnlijkheid NP-hard is. Dit is het geval, omdat het probleem kan worden beschouwd als een travellings salesman probleem wanneer de capaciteit van het voertuig als oneindig wordt gezet. Het travelings salesman probleem wordt beschouwd als NP-hard. Nu is in de praktijk de capaciteit van de transporteur niet oneindig wat het probleem complexer dan het TSP maakt. Door deze extra complexiteit kan

er gezegd worden dat het vinden van een oplossing voor het voorgestelde probleem naar alle waarschijnlijkheid ook NP-hard is.

Dantzig en Ramser een van de eersten die het vehicle routing problem (VRP) introduceerden (Dantzig & Ramser, 1959). Later kwam pas de toevoeging met pickup and deliveries (PDP) en dit werd geïntroduceerd door Savelsberg en Sol (Savelsberg & Sol, 1995). Het vehicle routing probleem met pick up en deliveries lijkt enigszins op het probleem wat voorgesteld is in paragraaf 1.6, maar desondanks is de literatuur die het many-to-many aspect behandelt beperkt qua inhoud en is er ook niet veel literatuur die erover behandelt aanwezig (Berbeglia, Cordeau, Gribkovskaia, & Laporte, 2007). In deze paragraaf zullen we zo veel mogelijk plausibele nuttige literatuur bespreken. De unieke aspecten van het probleem worden nader toegelicht in paragraaf 1.6. en 4.2.

Op bepaalde manieren lijkt een VRP met pickup and deliveries binnen een productieterrein op dat van een klassiek VRP met pickup and deliveries buiten de productieomgevingen, vanwege het feit dat er bij allebei verzendingen en pickups worden gedaan. Echter zijn er op dit gebied ook verschillen (Kilic, Bulent Durmusoglu, & Baskak, 2012).

Zo wordt er vermeld dat het in-plant vehicle routing probleem verschilt met de klassieke variant vanwege het feit dat er speciale eigenschappen in de in-plant VRP moeten worden verwerkt. Zo wordt er gezegd dat de benodigde hoeveelheid voor de gebruikerspunten afhankelijk is van de lengte van de route die de punten voorziet van goederen. (Vaidyanathan, Matson, Miller, & Matson, 1999).

Binnen het VRP met pickup en deliveries kunnen er volgens Wassan & Nagy drie belangrijke verschillende categorieën beschouwd worden (Wassan & Nagy, 2014):

- *Het VRP met Backhauling (VRPB)*
Hierin wordt er uitgegaan van een enkele vraag, waarbij eerst aan alle vraag voldaan moet worden voordat er kan worden opgehaald.
- *Het VRP met Mixed deliveries and Pickups (VRPMDP)*
Hierbij kan geleverd worden en kan er ook opgehaald worden in elke willekeurige volgorde.
- *Het VRP met Simultaneous Deliveries and Pickups (VRPSDP)*
Hierbij moet er tegelijk geleverd en opgehaald worden.

Bij al deze categorieën gaat het om een methode waarbij er geen vraag geldt tussen de haltes onderling. Het systeem dat wordt voorgesteld lijkt het meest op het VRPMDP. Hier geldt namelijk dat het niet uitmaakt wanneer een product opgehaald wordt en wanneer het geleverd wordt zolang het maar opgehaald is voordat het geleverd is (anders kan het niet bezorgd worden). Hierdoor valt het probleem in de tweede categorie. Toch zijn er ook verschillen met het VRPMDP vanwege het feit dat het uitgaat van een enkele vraag voor het ophalen en leveren.

Een van de laatste en meest uitgebreide literatuuronderzoeken geeft aan dat er behoefte is om binnen plants onderzoek te doen naar passend werkende heuristieken (Eksioglu, Vural, & Reisman, 2009).

2.4.1. Beschrijving metaheuristieken

Het routing en scheduleringsprobleem is er dus een met een grote complexiteit. Door deze complexiteit is het een haast ondoenlijke taak om een optimale oplossing te vinden. Om een oplossing te vinden die dicht bij het optimum zit, zijn er verschillende metaheuristieken. Deze trachten binnen een redelijke tijd een oplossing te vinden die voldoende is voor het doel. In dit subhoofdstuk zullen enkele veel gebruikte metaheuristieken worden toegelicht met hun voor- en nadelen en zal er een keuze worden gemaakt welke heuristiek gebruikt zal worden om het routering en schedulerings probleem op te lossen.

- Ant colonisation
- Genetic algorithm
- Simulated Annealing
- Tabu search

Ant colonisation

Gebaseerd op het gedrag van een mierenkolonie op zoek naar eten. De mieren laten in de natuur geuren na over het pad dat ze afleggen. In het begin leggen mieren willekeurige paden af op zoek naar eten. Als een mier een vaste plek met eten heeft gevonden dan zal hij deze route vaker blijven lopen. Deze geur ruiken de mieren en hoe vaker de mieren een bepaalde afstand lopen en hoe korter de afstand van dit pad is, hoe intenser de geur. Ditzelfde principe wordt toegepast op het vinden van een goede route. Bedacht door Marco Dorigo (Dorigo & Gambardella, 1997). Er is bewezen dat er voor sommige varianten het globale optimum als oplossing naar voren komt binnen eindige tijd.

Genetic algorithm

Het genetic algorithm is gebaseerd op de evolutie van diersoorten in de natuur. Het principe is voor een groot deel bedacht door John Holland samen met studenten van de universiteit van Michigan in de jaren 60 . Door middel van enkele oplossingen worden nieuwe oplossingen gegenereerd. De oude oplossingen gelden hierbij als ouder en de nieuwe oplossingen als kind van deze ouder. De heuristiek slaat een set aan oplossingen chromosoom en verandert deze door middel van mutaties. Vervolgens worden de uitkomsten getest en geëvalueerd. Hoe beter de uitkomst is, hoe groter de kans dat die geselecteerd wordt om nieuwe oplossingen mee te genereren. Dit gaat door tot het eindcriterium bereikt is.

Het algoritme is klaar als het maximaal aantal iteraties is bereikt of als voldaan is aan de juiste 'fitness'. Dit is de meest gebruikte metaheuristiek. Desondanks heeft deze heuristiek de neiging om een lokaal optimum als oplossing te hebben.

Als de complexiteit toeneemt, is het niet altijd meer geschikt om toe te passen. Dan zal het probleem moeten worden opgedeeld in vele kleinere problemen.

Simulated Annealing

De heuristiek is onafhankelijk van elkaar bedacht door Kirkpatrick et al. (Kirkpatrick, Gelatt, & Vecchi, 1983) en Černý (Černý, 1985). Het algoritme begint met ofwel een willekeurig gegenereerde route of een route die middels een doelgerichte methodiek tot stand is gekomen (two-stage Simulated Annealing genaamd). Vervolgens wordt er een nieuwe burenrouten gegenereerd en wordt deze wel of niet geaccepteerd.

De kansverdeling van het bepalen of een uitkomst wel of niet geaccepteerd wordt is gebaseerd op het Metropolis algoritme (Metropolis, Rosenbluth, Rosenbluth, Teller, & Teller, 1953). Daarnaast haalt de heuristiek zijn inspiratie uit het afkoelingsproces van metaal in de natuur.

Het algoritme start op een bepaalde waarde voor de cooling parameter en stopt als deze waarde de waarde heeft bereikt die gelijk is aan de vooraf opgestelde eindwaarde van de cooling parameter. Dit afkoelen kan via verschillende methodes gebeuren.

Een veel voorkomende methode is om de cooling parameter lineair te laten dalen, waarvoor in tabel 2-1 de betekenis van de parameters te vinden valt:

$$T_i = T_{i-1} * \alpha$$

Waarbij T de cooling parameter in fase i en α een constante is waarbij $0 < \alpha < 1$. Voor deze constante geldt dat per probleem verschillend is welke α goed presteert voor het op te lossen probleem.

Een andere methode om de waarde van de cooling parameter te laten dalen is (Geman & Geman, 1984), waarvoor eveneens in tabel 2-1 de betekenis van de parameters te vinden valt:

$$T_i = \frac{c}{\log(1 + i)}$$

Voor c wordt over het algemeen de startwaarde van de cooling parameter genomen als waarde.

Parameter	Betekenis
T_i	Cooling parameter T in iteratie i
α	Constante
c	Constante
i	Iteratie i

Tabel 2-1 Betekenis variabelen Simulated Annealing

Tabu search

Gebaseerd op steepest descent principe en bedacht door Fred Glover (Glover, 1989). Bij deze heuristiek wordt er een lijst bijgehouden met mogelijke oplossingen die taboe worden gemaakt. Elke keer worden er nieuwe oplossingen gegenereerd en wordt er gekeken of de nieuwe oplossing beter is dan de beste oude oplossing.

Ondertussen wordt er een taboe-lijst bijgehouden. Er zijn verschillende manieren waarop dit kan gebeuren. Het idee achter de taboe-lijst is dat nieuwe veranderingen niet worden geëvalueerd als deze op de taboe-lijst staan.

Een nadeel van het algoritme is dat het voornamelijk lokaal zoekt en het hierdoor niet waarschijnlijk is dat het in de buurt van het globale optimum komt.

Van de metaheuristieken hebben we in tabel 2-2 een overzicht gemaakt waarin de voor- en nadelen van de metaheuristieken zijn weergegeven.

Heuristiek:	Voordelen:	Nadelen:
Ant Colonisation	Vindt goede oplossingen in een relatief korte tijd.	Lastig om op te stellen voor een probleem.
Genetic Algorithm	Makkelijk te begrijpen qua concept.	Als het probleem niet in vectoren is uit te drukken dan gaat een hoop potentie van het algoritme verloren.
Simulated Annealing	Werkt goed met problemen waar 'aparte' situaties moeten worden geaccepteerd.	Overkill bij een probleem met weinig lokale optima. Er gaat veel tijd zitten in het vinden van geschikte parameters voor het vinden van een goede oplossing.
Tabu Search	Biedt over het algemeen een goede oplossing voor een probleem waarbij een oplossing lastig te vinden is.	Risico op lokaal optimum groot. Gebaseerd op een snelle oplossingsberekening.

Tabel 2-2: Voor- en nadelen heuristieken

Keuze heuristiek

In dit onderzoek zal een two-stage Simulated Annealing algoritme worden gebruikt om het routing en schedulering probleem te tackelen. In de eerste fase zal hier middels het nearest neighbor principe een initiële route worden gegenereerd. Vervolgens zal het Simulated Annealing principe in werking treden.

Het feit dat Simulated Annealing goed werkt als het zich door routes die niet als uiteindelijke oplossingen zullen kunnen worden genomen moet manoeuvreren om tot een adequate oplossing te komen maakt dat het een zeer geschikte heuristiek is voor dit specifieke probleem.

2.5. Conclusie

In dit hoofdstuk hebben we op de volgende gebieden gezocht naar relevante literatuur:

- Lean management
- Milk-run
- Vehicle routing met pickup and deliveries
 - Metaheuristieken

Op het gebied van lean is er vooral gekeken naar het belang van lean binnen de organisatie en naar achtergrond informatie.

Bij de literatuur over lean hebben we gekeken naar literatuur over milk-run systemen binnen een productieomgeving en we hebben hier de keuzemogelijkheden op een rij gezet. Daarnaast bleek dat er behoefte is naar meer onderzoek op dit gebied.

Vervolgens hebben we de literatuur beschreven over het vehicle routing probleem met pickup and deliveries en hebben we een beschrijving gegeven van veel gebruikte metaheuristieken om dit probleem op te lossen. Uiteindelijk kiezen we ervoor om een two-stage Simulated Annealing toe te passen om tot een oplossing te komen voor het voorgestelde probleem.

De belangrijkste conclusie die echter kan worden getrokken uit het literatuuronderzoek is dat er weinig literatuur beschikbaar is dat direct toepasbaar is op dit onderzoek. We zullen in de volgende hoofdstukken dan ook weinig gebruik van maken van de gevonden literatuur.



3. Beschrijving van de huidige situatie

3.1. Inleiding

In dit hoofdstuk zal de onderzoeksvraag *“Hoe ziet het interne transport er op het moment van aanvangen van het onderzoek uit?”* behandeld worden. Hiervoor zal eerst een korte beschrijving gegeven worden van het intern transportsysteem in de huidige situatie. Hierna zullen in dit hoofdstuk, zoals eerder beschreven bij de paragraaf 1.6, de volgende subvragen beantwoord worden:

- In hoeverre worden er in de huidige situatie vaste transporten gereden?
- Hoeveel tijd zijn de logistiek medewerkers bezig met het rondrijden over het terrein en hoeveel tijd zijn ze kwijt met het af-/aankoppelen van karren en uit-/inladen van producten op hun karren?
- Hoe komt het dat er zoveel spoedtransporten zijn?
- Hoe verloopt de flow aan goederen op het terrein?
- Wat zien de belanghebbenden als positieve en negatieve punten in het huidige systeem?

3.2. Korte beschrijving van het huidige systeem

Op het moment is de afdeling ‘Material Handling’ binnen Fokker Aerostructures Hoogeveen verantwoordelijk voor het interne transport van gebouw tot gebouw en rijden er dagelijks twee logistiek medewerkers rond. Naast deze twee vaste logistiek medewerkers heeft het bedrijf nog een medewerker op oproepbasis in dienst voor het geval één van de logistiek medewerkers ziek is of een dag vrij neemt.

Eén logistiek medewerker rijdt in een Spijkstaalkar en één logistiek medewerker rijdt in een heftruck rond. Tussen de vaste transporten door krijgen ze spoedtransporten die ze moeten uitvoeren. Deze krijgen ze aangestuurd vanuit een andere afdeling binnen ‘Material Handling’ genaamd ‘Ontvangst’. Naast de vaste transporten en de spoedtransporten wordt er door de logistiek medewerkers zelf gekeken wat nuttig zou zijn om te vervoeren over het terrein. Deze transporten worden gedaan door producten vanuit een stelling (weergegeven in figuur 3-1) op een kar te plaatsen of door een kar op te halen vanuit een drop & pick point (weergegeven in figuur 3-2, het drop & pick point is hier te zien in de vorm van de zwarte belijning) en vervolgens te vervoeren naar de behoevende afdeling.

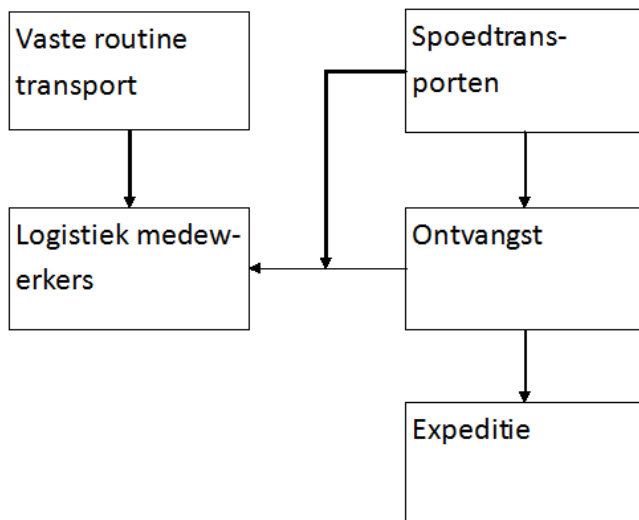


Figuur 3-1 Stelling



Figuur 3-2 Drop & Pick point (zwart omlijnd)

Naast de transporten die gedaan worden door de twee logistiek medewerkers is er ook een afdeling genaamd 'Expeditie' die spoedtransporten op het terrein vervoert. In principe nemen zij alle spoedtransporten tot zich, maar als zij hier geen tijd voor hebben wordt de verantwoordelijkheid voor het spoedtransport verschoven naar één van de logistiek medewerkers. In figuur 3-3 is de afhandeling van een spoedtransport in een flow chart weergegeven.



Figuur 3-3: organisatie material handling

Het komt er op neer dat de verhouding tussen het transport wat volgens vaste routine gebeurt en wat als spoedtransport vervoerd wordt nu ongeveer 50/50 is. Dit is bepaald door twee dagen mee te rijden met de intern transporteurs en door het uitvoeren van interviews met betrokkenen. Naar aanleiding van interviews met teamleiders en de supervisor binnen het bedrijf is de verwachting dat het aantal spoedtransporten terug kan worden gebracht naar 15%. Ook hebben we gekeken naar de tijd die de intern transporteur nodig heeft voor het aan-/afkoppelen van een transportkar of het in-/uitladen van een producten op een transportkar door deze tijden te meten tijdens de twee dagen die we hebben meegereden met de intern transporteurs. Hierdoor hebben we bepaald dat deze handlingstijd gemiddeld gezien net iets onder de 120 seconden bedraagt.

3.3. In hoeverre worden er nu vaste transporten gereden?

Allebei de logistiek medewerkers hebben hun eigen vaste transporten waar ze verantwoordelijk voor zijn. Zo wordt er in het huidige systeem dagelijks tussen 8:00 en 10:00 een vaste route gereden door één van de logistiek medewerkers.

Op het moment hebben beide logistiek medewerkers ook al een spoorboekje voor hun dagelijkse gang van zaken opgeschreven (zie tabel 3-1 en tabel 3-2). Echter blijkt in de praktijk bij allebei de logistiek medewerkers dat ze zich niet heel strikt houden aan deze spoorboekjes en dat er veel werk tussendoor komt.

Wat ook opvalt aan de spoorboekjes zijn de ruime tijden die worden aangehouden tussen de verschillende transporttaken die zijn opgeschreven door de logistiek medewerkers. Daarnaast zijn de beschrijvingen niet voor iedereen duidelijk binnen het bedrijf waardoor het voor een invaller bij ziekte of afwezigheid van de vaste interne transporteur lastig is om de transporttaken van de vaste interne transporteur op een goede manier over te nemen. Tenslotte staat er niet altijd een duidelijk begin- en eindpunt aangegeven bij de transporttaak.

Tijd	Startpunt	Wat	Eindpunt
7:00	Hal 34	Verspaning naar baden	Hal 31
	Hal 31	Baden naar expeditie voor pendel	Hal 17
	Hal 31	Baden naar lift magazijn	Hal 17
7:30		Ariane kar (crosdock) H02 A-B (R02 t/m R19) deur 2 afst. bed.	Hal2
8:00		Persoon A H02 (S01 t/m S05) deur 3	SABO APACHE
8:30		Persoon B H02 AA (N06-N09) deur 1	
8:50		Algemene kar stelling deur 8A deur 6 Hal 35	
9:15		Verspaning Hal 34, 81W kist in pendelauto	
10:00		Auto parm: naar verspaning uitventen	
11:00		Route rijden: Persoon C (boren enz), Persoon D	
12:30	H18	Groter spuitery (Persoon E)	
13:00	H02 A-B	Ariane stelling (R02 t/m R19)	
13:15	H02 A-B	Stelling Persoon A H02 (S01 t/m S05) Selfs dozen voor spuitery, voor verspaning. Sares van Persoon F	
14:00	Hal 17	Crossdock rollen voor Hal 36	
14:15		Apache Persoon G H36 A	
14:30	Hal 17	Latten bodem Pers	SABO APACHE hal 36
15:00		Honingraat kar Persoon H GV	
15:15		Baden leeg halen, gaaskarren voor de lift	

Tabel 3-1 Spoorboekje Route 1

Tijd	Startpunt	Wat	Eindpunt
8:00	Hal 17	Spuitskar spuitery naar Persoon G	SABO apache hal 36
	Hal 35	Stelling E22 leeghalen en uitventen div. afdelingen	
	NDO hal 22	Kar plank 2 uitgaand spuitery en plank 3 uitgaand mag. 5a	Hal 17
	Handverspaning hal 2	Stelling E36 alleen bovenste plank leeghalen	Spuitery hal
10:15	Spuitery	JSF spuitskar naar SABO JSF	SABO hal 36
10:30	Hal 17	Honingraatkar	SABO hal 35
11:30	Hal 17	Jsf onderdelenkar	SABO hal 35
	SABO hal 35	Lege jsf onderdelenkar	Hal 17 magazijn
		Honingraatkar van magazijn naar SABO gebouw 36 brengen	
14:00	Hal 17	Apache onderdelenkar	SABO apache hal 36
	SABO jsf	Spuitskar terug	Spuitery
15:00	SABO hal 35	Honingraatkar retour	Hal 17 magazijn



	SABO hal 36	Apache onderdelenkar retour halen naar magazijn	Hal 17 magazijn
15:30	Hal 17	Postbakje magazijn leeghalen	Portier geb. 157
	Portier geb. 157	Post magazijn meenemen	Hal 17 magazijn
16:00	SABO hal 36	Spuitskar Persoon G meenemen	Spuiterij

Tabel 3-2 Spoorboekje Route 2

3.4. Hoeveel tijd zijn de logistiek medewerkers bezig met het rondrijden over het terrein en hoeveel tijd zijn ze kwijt met het af-/aankoppelen van karren en uit-/inladen van producten op hun karren?

Allereerst dient gezegd te worden de verhouding tussen de tijd dat gestopt wordt in het rondrijden en het uitvoeren van handelingen als het uitladen en inladen van een kar verschilt per dag. Wel valt hier een algemene lijn in te vinden en zijn de logistiek medewerkers gemiddeld 60% van hun tijd bezig met het rondrijden en 40% van de tijd dat ze aan het werk zijn met het aan-/afkoppelen van karren (zie bijlage A). Verwacht wordt dat de tijd die de intern transporteurs kwijt zijn aan het rondrijden over het terrein naar beneden kan worden gebracht zonder dat er minder leveringen worden gedaan.

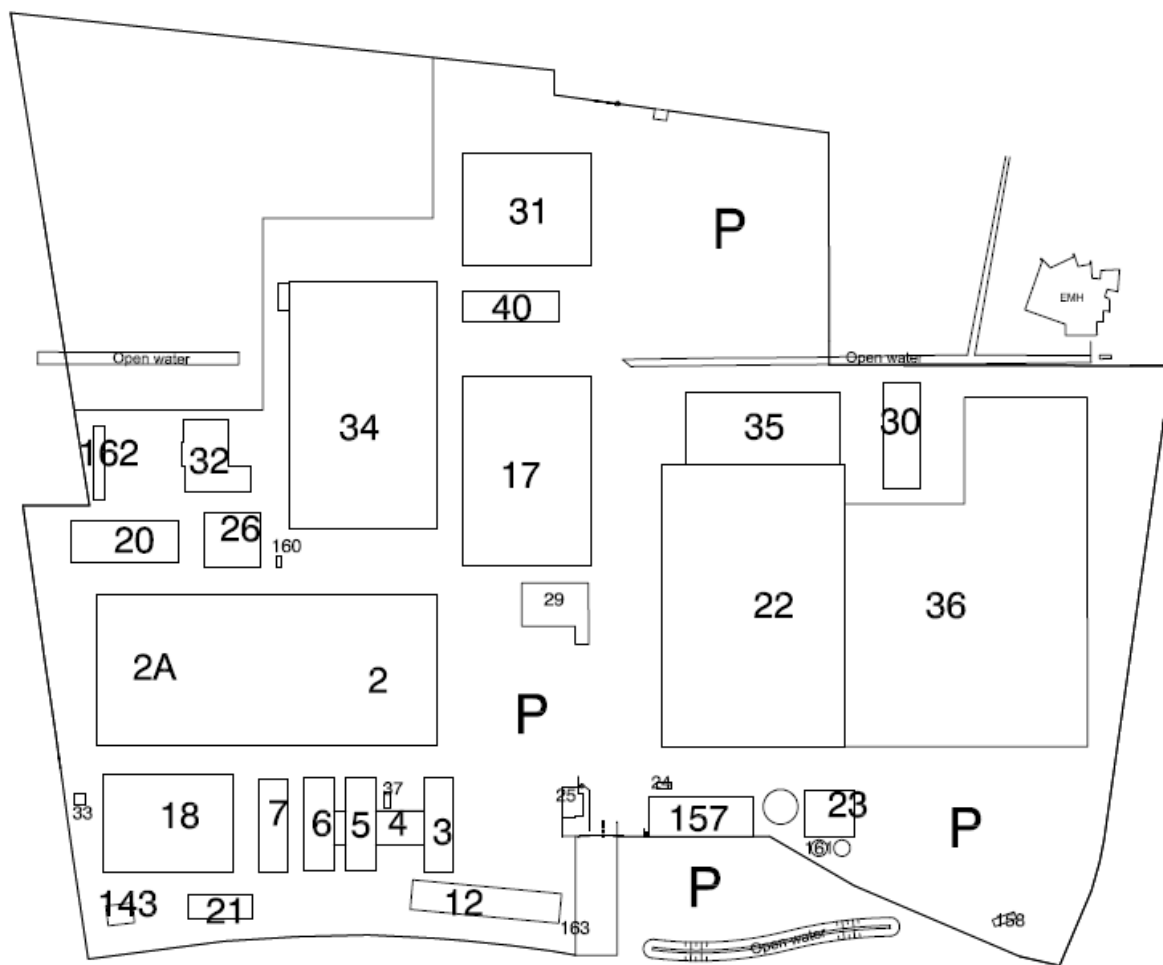
3.5. Hoe verloopt de flow aan goederen op het terrein?

Op het terrein worden er vanaf verschillende gebouwen richting verschillende gebouwen producten vervoerd. Om in kaart te brengen hoe de routes kunnen worden ingericht, is het goed om te weten hoe de flow van producten nu loopt.

Omdat er op het terrein van onderzoek meer dan 20.000 unieke producten zijn, is er wegens tijdsgebrek besloten om niet per product in kaart te brengen hoe de flow aan transport loopt, maar om per afdeling te kijken.

Bij de volgende gebouwen speelt intern transport een rol (zie de plattegrond voor de locatie op het terrein):

- Spuiterij (18)
- Magazijn (17)
- Composiet (35, 22, 36)
- Machining (34)
- Special products (2A, 2)
- Badenlijn/Surface Treatment (31)
- Vrieschok (40)
- Nishut (26)
- Maintenance (7)



Figuur 3-4 Plattegrond terrein Edisonstraat

Binnen de verschillende productieafdelingen zijn er weer verschillende stellingen en drop & pick points waar producten worden opgehaald en afgeleverd. Deze punten zijn grafisch op de plattegrond weergegeven om een beter beeld te krijgen hoe de flow aan producten loopt. Van deze afdelingen zijn er lijnen getrokken naar de afdeling(en) waar producten naar toe moeten worden gebracht. In figuur 3-5 kan gezien worden hoe de stromen van producten op een gemiddelde dag over het terrein lopen. In dit spaghetti-diagram is alleen de stroom te zien en is er niet in verwerkt hoe vaak een bepaalde stroom op een dag plaatsvindt. De reden hiervoor is dat het er producten zijn die soms meerdere keren per week worden vervoerd en dat er producten zijn die een paar keer per dag worden vervoerd. Er is ervoor gekozen om voor elke lijn die minstens een keer per week voorkomt te verwerken in het spaghetti-diagram. Dit zodat het overzicht enigszins behouden blijft in het diagram. In dit diagram zijn de afleverplaatsen in het geel weergegeven en zijn de transporten die niet te combineren zijn met andere transporten in het zwart weergegeven (pallets en kisten moeten bijvoorbeeld individueel op een heftruck vervoerd worden). De transporten die wel met andere transporten gecombineerd kunnen worden, zijn in het blauw te zien.



Figuur 3-5 Spaghettidiagram zonder intensiteiten

Wat opvalt in het diagram is dat er veel overlap zit tussen de wegen die de producten moeten afleggen. Het valt te verwachten dat als er producten worden gecombineerd in verschillende karren dat er een stuk efficiënter getransporteerd zal worden en er dus een hoop tijd bespaard zal worden.

3.6. Wat zien de belanghebbenden als positieve en negatieve punten in het huidige systeem?

Uit interviews met de belanghebbenden binnen het bedrijf zijn er een aantal zaken naar voren gekomen die op het moment als positief worden beschouwd, maar er zijn vooral zaken naar voren gekomen die als negatief worden beschouwd aan de huidige situatie. Deze zaken worden in deze paragraaf opgesomd.

3.6.1. Negatieve punten binnen het systeem

Zoals eerder vermeld doet de situatie zich voor dat de persoon die het hardste roept zijn onderdeel het snelst vervoerd wordt. Er ontstaat hierdoor echter de situatie dat er onderdelen blijven liggen als de logistiek medewerker om 15:30 of 16:30 naar huis mag, terwijl sommige onderdelen al wel vervoerd hadden moeten worden. Hierdoor blijven sommige producten liggen en stijgt de doorlooptijd, terwijl dit niet het geval had hoeven zijn.

Ten tweede is het een probleem dat een spoedtransport niet altijd als een spoedtransport wordt behandeld, omdat er het voorkomt dat er meerdere transporten tegelijk worden

doorgegeven als spoed. Hierdoor komt het voor dat een minder belangrijk spoedtransport voor een ander spoedtransport wordt vervoerd.

Ten derde ontstaat er het probleem dat er onnodige wachtrijen worden gecreëerd bij bepaalde afdelingen binnen Fokker. Zo wordt er bijvoorbeeld vaak een onderdeel onnodig snel afgeleverd bij de spuiterij waardoor daar een grote wachtrij aan karren met producten ontstaat en producten soms buiten moeten worden neergezet wegens ruimtegebrek. Hier kunnen weersomstandigheden negatieve invloed uitoefenen op de producten waardoor er beschadigingen kunnen ontstaan aan de producten.

Ten vierde speelt het probleem dat er, omdat het soms lang duurt voordat er een spoedtransport wordt vervoerd, personeel besluit om zelf een product of onderdeel onder de arm te nemen en te vervoeren naar de volgende afdeling in het productieproces. Gezien het feit dat de onderdelen die geproduceerd worden bij Fokker in de tienduizenden en soms meer dan honderdduizend euro kosten, kan er nagegaan worden wat de negatieve gevolgen kunnen zijn als iemand het onderdeel laat vallen en er beschadigingen optreden. Daarnaast komt het niet professioneel over op de klanten waarvoor geproduceerd wordt, als zij langskomen bij de vestiging om te kijken hoe de productie van de door hun bestelde producten ervoor staat.

Ten vijfde wordt er nu bij de composieten afdeling intern alles vervoerd door mensen van de productie onder de arm. Hierdoor staat bijvoorbeeld bij de afdeling van handverspaning een machine die 350,- per uur kost stil op de momenten dat onderdelen vervoerd worden. Idealiter zouden deze mensen deze tijd niet verloren zien gaan met transporteren van onderdelen, maar voegen ze waarde toe aan hun machine, hetgeen waar deze werknemers ook voor zijn aangenomen.

Ten zesde is er weinig inzicht in het systeem. Op het moment kan er weinig informatie uit de plattegrond gehaald worden en is het niet duidelijk wanneer een product zich waar bevindt op het terrein. Dit zorgt voor onduidelijkheid bij verschillende afdelingen wanneer een product hun kant op zal komen. Verder zorgt het feit dat er geen digitale lokalisatie van de producten is, ervoor dat er bepaalde analyses niet worden gedaan die nuttig zouden kunnen zijn om het productieproces te verbeteren.

Ten zevende raakt er op het moment door het gebrek aan digitale lokalisatie wel eens een product zoek. Zo is meerdere malen verteld in een periode van twee weken dat er producten 'kwijt' waren geraakt. Dit kost extra tijd, zorgt voor stress bij de medewerkers en soms wordt het zelfs niet meer terug gevonden.

Ten achtste wordt er op dit moment niet efficiënt gewerkt door de logistiek medewerkers. Zeker op de momenten dat ze geen vaste taak hebben en zelf aan het kijken zijn waar er producten vervoerd moeten worden, zijn ze over het terrein aan het rondrijden. Daarnaast wordt er met transportkarren gereden die gekoppeld zijn aan het Spijkstaalvoertuig die niet geschikt zijn voor de producten die getransporteerd moeten worden. Hierdoor beschadigen

er producten onderweg als de intern transporteur toch besluit de producten in deze karren te vervoeren. Als de logistiek medewerker besluit met een andere kar de producten te gaan vervoeren dan moet deze werknemer weer naar een andere locatie rijden om een andere kar aan te koppelen en weer terug te rijden. Dit zorgt weer voor extra transporttijd. Dat blijkt ook uit het percentage dat de tijd weergeeft dat de logistiek medewerkers over het terrein aan het rijden zijn.

Ten negende wordt er met het huidige kleurgebruik van de stellingen niet altijd heel helder aangegeven waar de producten in de stelling voor dienen. Dit zorgt voor verwarring onder de werknemers van verschillende afdelingen.

Ten tiende is er in het systeem zoals het nu is niet altijd duidelijk wie voor wat verantwoordelijk is. Vaak wordt er naar eigen inschatting bepaald of de productiemedewerkers zelf een onderdeel moeten vervoeren of dat het de taak is van material handling. Ook dit zorgt voor verwarring onder de werknemers en bevordert het de efficiëntie van het productieproces niet.

Ten elfde is er in het huidige systeem een probleem dat de karren niet altijd geschikt zijn voor de producten die worden vervoerd. Zo zit er nauwelijks vering op de karren en is de weg hobbelig. Producten stuiteren op de transportkarren en lopen hierdoor risico op beschadiging. Daarnaast zijn de karren niet altijd geschikt voor de weersomstandigheden waarin ze vervoerd worden. Zo zijn niet alle karren volledig dicht waardoor er vocht naar binnen kan komen. Daarnaast zijn bijna alle karren die gebruikt worden niet goed geïsoleerd waardoor de producten vatbaar zijn voor lage/hoge buitentemperaturen.

3.6.2. Positief

Een punt dat vaak wordt aangehaald is dat het nu mogelijk is om makkelijk en redelijk snel van hun goederen af te komen als ze klaar zijn met produceren. Hierdoor staat het product dat klaar is op de desbetreffende afdeling niet lang in de weg op de desbetreffende productieafdeling.

Bij de special products werkt het huidige systeem voor sommige producten best wel goed en de eindverantwoordelijke voor de prestaties over deze afdeling ziet niet direct een reden tot verandering van het systeem. Dit omdat iedereen nu gewend is aan de huidige situatie en daarop kan anticiperen.

3.7. Hoe komt het dat er zoveel spoedtransporten zijn?

Zoals eerder is beschreven in de probleemkluwen bij paragraaf 1.3., wordt niet elk spoedtransport even snel afgehandeld. Doordat dit het geval is, hebben productiemedewerkers de neiging om bij material handling aan te geven dat ze een spoedtransport hebben als ze klaar zijn met het produceren van een bepaald product. Dit wordt gedaan, omdat er dan vanuit gegaan wordt dat het product dan in ieder geval op tijd op de volgende afdeling is.

Daarnaast zit er in de tijd waarin de interne transporteurs langs komen zoveel variatie dat de productieafdelingen er niet altijd vanuit kunnen gaan dat het product wat vervoerd moet worden op tijd op de volgende productieafdeling bezorgd wordt.

3.8. Conclusie

In dit hoofdstuk is de deelvraag *“Hoe ziet het interne transport er op het moment van aanvangen van het onderzoek uit(H3)?”* behandeld. Er is hiervoor eerst gezocht voor een beschrijving van het huidige systeem, vervolgens is er gekeken naar de indeling van de interne transporten en hoe de flow van producten over het terrein loopt. Daarna is er gekeken naar de meningen van belanghebbenden over de huidige situatie (de positieve en negatieve aspecten hiervan) en tenslotte is er gekeken waarom er zoveel spoedtransporten op het terrein zijn.

Uit de informatie die verzameld is, kan de conclusie getrokken worden dat er nog veel mogelijkheden tot verbetering zijn binnen het bedrijventerrein op het gebied van intern transport. De grootste mogelijkheid ligt bij het verminderen van de reistijd van de interne transporteurs. De onnodige reistijd die nu plaatsvindt heeft deels haar oorzaak bij het feit dat de routes niet handig op elkaar zijn afgestemd, deels ligt de oorzaak bij het feit dat de intern transporteur spoedtransporten tussendoor moet doen, waardoor deze afwijkt van de eerder opgestelde route.

4. Afbakening systeem

4.1. Inleiding

Om tot een zinvol spoorboekje te komen, moet er eerst duidelijk worden welk type product mee zal gaan met de buslijn, welke stellingen en drop & pick points gebruikt zullen worden als bushalte en tenslotte welke karren als bus zullen worden gebruikt. Daarnaast is het handig om te vermelden onder wie de verantwoordelijkheid voor spoedtransporten zal vallen als de logistiek medewerkers hier niet meer verantwoordelijk voor zijn. In dit hoofdstuk zullen de keuzes in deze zaken worden gemaakt en toegelicht.

4.2. Beschrijving complexiteit probleemstelling

Het probleem van het opstellen van een routeschema is in paragraaf 1.6. geïntroduceerd. Hierbij is ook al aangekaart dat dit een nieuw type transportprobleem is en complex is. In deze paragraaf zal nog nader toegelicht worden waarom dit probleem zo complex is.

Bij de Simulated Annealing fase zullen er buuroplossingen van een gegenereerde route worden gegenereerd waaruit een nieuwe oplossing voor het probleem uit wordt samengesteld. Binnen dit programma ontstaat dan de keuze om de nieuw voorgestelde route te accepteren of te verwerpen. Bij de meeste Simulated Annealing simulaties wordt er een schatting van de nieuwe voorgestelde route opgesteld en wordt op basis van deze schatting bepaald of die geaccepteerd wordt of verworpen. Als die geaccepteerd wordt, besluit de simulatie pas om alle aanpassingen te maken die nodig zijn om de nieuw voorgestelde route als huidig te stellen. Omdat de keuze welke klant de bus als eerstvolgende bezoekt van invloed is op de karren die de bus later in de route zal bezorgen en meenemen is het niet mogelijk om een nauwkeurige schatting te maken van de uitkomst van de nieuwe voorgestelde route. Dit zorgt ervoor dat de simulatie de nieuw opgestelde route volledig moet genereren om de uitkomst te bepalen en te bepalen of de nieuwe route geaccepteerd of verworpen wordt.

Hierdoor kan er vanwege bovenstaande en het feit dat het opstellen van een spoorboekje voor het voorgestelde probleem naar alle waarschijnlijkheid NP-hard is (verklaring hiervoor wordt gegeven bij paragraaf 2.4.) de conclusie getrokken worden dat het opstellen van een spoorboekje middels Simulated Annealing een non-incremental probleem met cost differential calculation is. Dit zorgt voor extra complexiteit bij het opstellen van de simulatie en zorgt voor een relatief grote rekentijd.

4.3. Producten die meegaan met de buslijn

Om de bus te kunnen laten rijden moet er duidelijk worden welk type producten er mee zullen gaan met de bus. Er zijn op het terrein immers producten die te groot zijn om standaard te laten vervoeren op de routes, omdat deze niet met standaard karren kunnen worden vervoerd. De producten die niet op karren kunnen worden vervoerd zullen buiten beschouwing van het onderzoek worden gelaten, omdat deze transporten niet gecombineerd kunnen worden met andere transporten en daardoor te veel tijd zal innemen

van de intern transporteurs waardoor deze transporteurs niet genoeg tijd aan de busroutes zullen kunnen besteden.

Omdat er meer dan tienduizenden producten zijn die worden vervoerd op het terrein van het onderzoek, is het, gezien de tijdslimiet, een onbegonnen taak om voor elk product te achterhalen of het meegaat met de bushalte. Daarom is er voor gekozen om per afdeling te kijken wat voor producten er vandaan gaan en welke producten er binnen komen.

De kisten die worden afgeleverd en opgehaald bij afdelingen zullen niet worden vervoerd door de logistiek medewerkers. Op het moment vervoeren de logistiek medewerkers sommige van deze kisten, maar in de toekomst zal expeditie deze taak volledig op zich nemen.

Op het moment worden er pallets afgeleverd door of een medewerker van expeditie of door een logistiek medewerker. In de toekomst is het de bedoeling dat een medewerker van expeditie dit op zich zal nemen.

4.4. Stellingen en drop & pick points die als bushalte zullen fungeren

Niet alle stellingen en drop & pick points die op het terrein zijn vormgegeven, zullen in het nieuwe systeem als vaste bushalte fungeren. Daarom wordt er hier een keuze gemaakt welke wel als vaste bushalte gehanteerd worden. Hiervoor wordt het volgende criterium gehanteerd:

- De locatie is 1x per week of meer in gebruik voor de afdeling om te worden opgenomen in de busroute

In figuur 4-1 en 4-2 zijn de locaties van de bushaltes op de plattegrond weergegeven. In tabel 4-1 zijn de locaties gekoppeld aan de nummers zoals die te zien zijn in figuur 4-1 en 4-2.



Figuur 4-1: Plattegrond met alle bushaltes toegevoegd



Figuur 4-2: Bushaltes binnen gebouw 34 Machining

Halte	Naam
1	Badenlijn Centraal
2	Badenlijn Spuiterij
3	Mallenbouw
4	Apache Samenbouw
5	JSF Center
6	JSF Flap
7	A380/A400M/G650 Samenbouw
8	JSF flapperon

9	Handverspaning
10	NDO
11	Debugging
12	Spuiterij kleine producten
13	Spuiterij grote producten
14	PAC-3
15	Ariane uit
16	Ariane aan
17	Apache subs, NH-90 Samenbouw, Agusta, Tigre Samenbouw
18	Shelters
19	Magazijn voor
20	Magazijn achter
P10	Machining P10
P11	Machining P11
P12	Machining P12
P20	Machining P20
P21	Machining P21
P22	Machining P22
P23	Machining P23
P24	Machining P24
P25	Machining P25
P26	Machining P26
P27	Machining P27
P28	Machining P28
P30	Machining P30
P31	Machining P31
P32	Machining P32
P33	Machining P33
P34	Machining P34
P35	Machining P35

Tabel 4-1 Haltes bij halte nummers

4.5. Karren die als bus zullen worden gebruikt

De criteria die hier voor opgesteld zijn:

- De karren moeten minstens een keer per week gebruikt worden voor hetzelfde type transporten.
- De karren moeten te koppelen zijn achter een Spijkstaalvoertuig (voertuig is weergegeven in figuur 4-3).



Figuur 4-3 Spijkstaalvoertuig

Om een beeld te schetsen van de variatie aan karren die op het terrein in gebruik zijn, zijn er in figuur 4-4, 4-5, 4-6 en 4-7 een aantal karren te zien. Dit is slechts een greep uit het aantal verschillende karren wat op het terrein aanwezig is.



Figuur 4-4 transportkar 1



Figuur 4-5 Transportkar 2



Figuur 4-6 Transportkar 3



Figuur 4-7 Transportkar 4

Verder zal er gebruik worden gemaakt van dezelfde karren die in de huidige situatie ook gebruikt worden als transportkar. In de huidige situatie is het echter niet mogelijk om bepaalde transportkarren aan elkaar te koppelen vanwege de verschillende aansluitingen die de transportkarren hebben. Deze aansluitingen zullen daarom veranderd worden zodat de karren wel aan elkaar gekoppeld kunnen worden. In figuur 4-8 is een voorbeeld gegeven van een verschil in de aansluiting om gekoppeld te worden aan het Spijkstaalvoertuig.



Figuur 4-8 Verschil in koppeling transportkarren

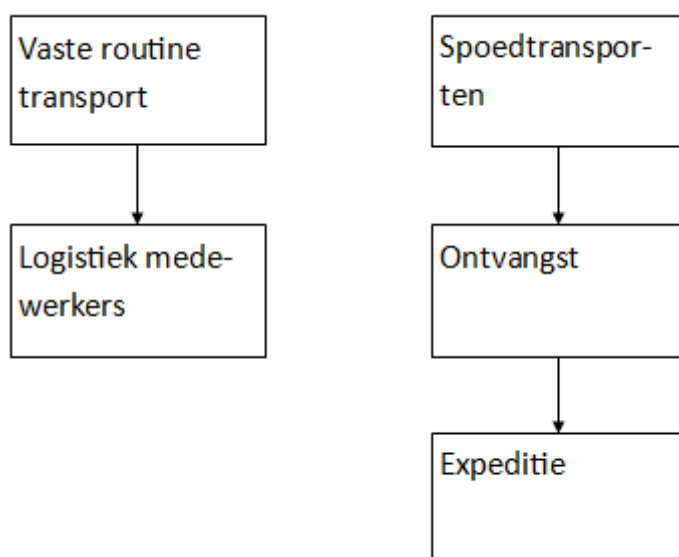
Naar aanleiding van verscheidene testen met het koppelen van karren is besloten dat de interne transporteur niet meer dan twee karren tegelijk aan zijn transportvoertuig mag koppelen. Hiervoor is gekozen vanwege het feit dat als er meer karren aan elkaar gekoppeld

worden, de trein aan karren te veel gaat zwalken en dit levert gevaarlijke situaties op. Het feit dat de karren verschillende lengtes en breedtes hebben speelt bij deze beslissing een rol. Bij sommige karren levert het namelijk geen problemen op als er meer dan twee achter elkaar gekoppeld worden, maar om het transportprobleem wat te vergemakkelijken hebben we ervoor gekozen om de capaciteit standaard op twee te zetten.

4.6. Verantwoordelijkheid spoedtransporten & transporten die niet meegaan op de buslijn

Alle producten en karren die eerst door de interne transporteurs werden vervoerd, maar die in de nieuwe situatie niet meer door hen zullen worden vervoerd, zullen worden getransporteerd door medewerkers van de afdeling expeditie. Dit zal gelden voor spoedtransporten en voor de transporten waarvoor bewust de keuze is gemaakt om ze niet te laten aansluiten bij het nieuwe bussysteem. Zie voor een visuele weergave van de afhandeling van de spoedtransporten figuur 4-9.

Als de situatie zich voordoet dat er bij een bushalte te veel producten/karren klaar staan om meegenomen te worden door de intern transporteur dan zal er gebeld worden naar de afdeling ontvangst door de intern transporteur om de overgebleven producten/karren aan te melden als producten/karren die als spoedtransport moeten worden vervoerd.



Figuur 4-9: Nieuwe situatie organisatie material handling

4.7. Wat zijn de restricties voor de routes en wat zijn de voorwaarden om ze aan te toetsen?

Bij het opstellen van de routes zijn er enkele restricties waarmee rekening dient te worden gehouden en zijn er indicatoren nodig om het resultaat van de bepaalde routes aan te bepalen. In deze paragraaf zullen deze zaken uiteen worden gezet en zullen de keuzes op bepaalde gebieden hiervoor worden toegelicht.

Hiernaast geldt de constraint dat een logistiek medewerker niet meer dan acht uur werkt op een dag en dat in de route rekening gehouden moet worden dat de medewerker ook pauzes heeft.

De pauzes hoeven niet specifiek te worden ingevoegd in de route, maar kunnen na het samenstellen van een routeschema worden ingevoegd in de tijdsplanning van de intern transporteur. Ook is er besloten om niet in de heuristiek te verwerken dat een werkdag maar acht uur duurt. Als blijkt dat de route langer dan acht uur duurt dan zullen de ritten die na een transporttijd van acht uur toebedeeld worden aan een volgende transporteur.

Door dit zo te organiseren hoeven er geen time-windows te worden toegevoegd aan de heuristiek. Dit vereenvoudigt het samenstellen van een simulatie voor een route en vermindert de rekentijd die nodig is om uiteindelijk tot een adequaat spoorboekje te komen. Het niet invoeren van time-windows is voornamelijk mogelijk vanwege het feit dat er vanwege de lange doorlooptijd van het productieproces (meerdere maanden voor sommige producten) het minder belangrijk is dat een product zo snel mogelijk vervoerd wordt naar de volgende productieafdeling. Als het product dezelfde dag nog op de volgende afdeling is, past dat over het algemeen binnen de productieplanning.

Tenslotte moet het resultaat van de opgestelde route worden bepaald om te kunnen zeggen welke route beter presteert dan een andere. Hiervoor is het mogelijk om de samengestelde route op verscheidene aspecten te toetsen (invloed op doorlooptijd, aantal transporten op tijd bezorgd en de totale reistijd). Hierbij geldt dat indicatoren als doorlooptijd en het aantal transporten dat op tijd bezorgd wordt, lastig te bepalen zijn en er te weinig data beschikbaar is om de routes hierop te testen. De totale reistijd zal daarom gekozen worden als criterium voor de samengestelde routes.

4.8. Conclusie

In dit hoofdstuk is de deelvraag *“Welke randvoorwaarden worden er gesteld aan het opstellen van een nieuw systeem en hoe kan het beschreven worden”* behandeld. Er is in dit hoofdstuk een beschrijving gegeven van de complexiteit van het probleem en er zijn keuzes gemaakt met betrekking tot het milk-run systeem. Tenslotte is er een voorzichtig beeld van de nieuwe situatie geschetst en is er bepaald aan welke voorwaarden de routes moeten voldoen en aan de hand van welke criteria ze kunnen worden getoetst.

Zo blijkt het dat het opstellen van de routes voor het type probleem wat behandeld wordt in dit onderzoek van grote complexiteit is. Daarnaast wordt duidelijk dat na de selectie een behoorlijk aantal producten/karren overblijven die vervoerd zullen worden in het nieuw op te stellen systeem en er een beperkte hoeveelheid aan transport overgeheveld wordt naar de afdeling expeditie.

Tenslotte wordt er gezegd dat de routes geëvalueerd zullen worden aan de hoeveelheid tijd die nodig is om de route te voltooien waarbij geldt dat hoe minder lang er over de route wordt gedaan hoe beter de score is.



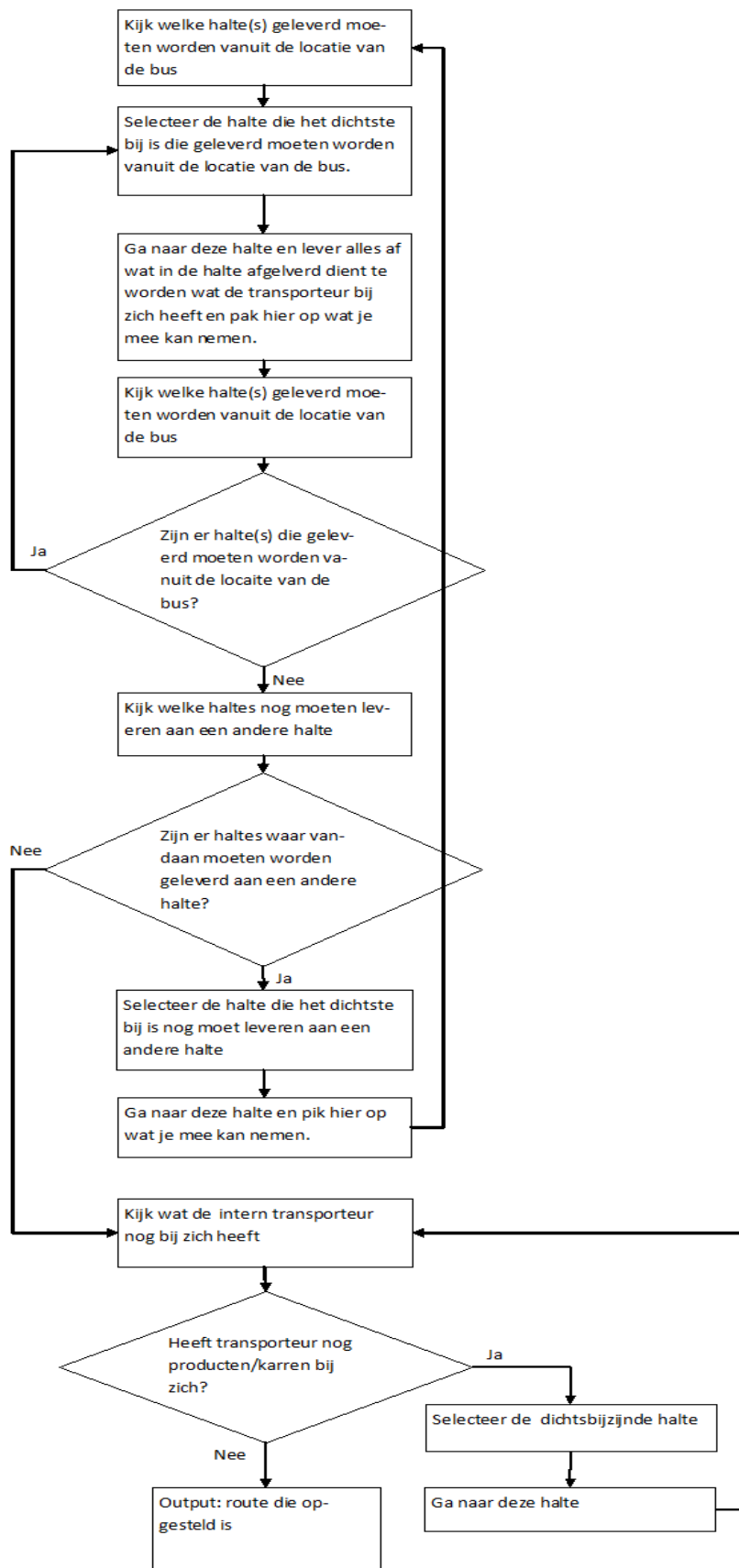
5. Routing en schedulering

5.1. Inleiding

Zoals eerder is besproken bij hoofdstuk 2 zullen de routes en de schema's voor de routes opgesteld worden door een two-stage Simulated Annealing algoritme. Hierbij wordt eerst een initiële route opgesteld door middel van het nearest insertion algorithm principe. Vervolgens wordt er met Simulated Annealing gekeken of er betere routes beschikbaar zijn. We zullen een experimentenonderzoek opstellen en uitvoeren om te kijken welke waarden voor de parameters goed werken voor het transportprobleem binnen Fokker. Met deze gevonden waarden zullen we een uitkomst genereren voor het voorgestelde probleem in paragraaf 1.6. en ons resultaat vergelijken met het beste resultaat dat geleverd is door een externe partij. Tenslotte zullen we de goed werkende parameters toepassen op het transportprobleem van Fokker en de uitkomst hiervan weergeven.

5.2. Two-stage Simulated Annealing binnen Visual Basic

De initiële route wordt bepaald door te kijken welke halte het dichtste bij is en waar aan kan worden geleverd. Mocht de situatie zich voordoen dat de transporteur zich in een halte bevindt waaruit niet meer geleverd hoeft te worden dan gaat de transporteur naar de dichtstbijzijnde halte die wel nog moet leveren aan andere haltes. Dit principe is visueel weergegeven in een flow chart in figuur 5-1



Figuur 5-1 Flow chart nearest insertion

In de annealing fase wordt er een willekeurige halte geselecteerd die vervangen wordt door een willekeurige halte (met uitzondering van het start en eindpunt deze staat van tevoren immers al vast). Vervolgens wordt er gekeken of de nieuwe route als huidig wordt gezet middels een doelfunctie. Hierbij kunnen ook niet-feasible routes worden geaccepteerd. Dit gebeurt op basis van het Metropolis algoritme. Als blijkt dat een route een beter resultaat biedt dan het tot dusver beste resultaat en tegelijkertijd feasible is dan wordt die route als beste gezet en onthouden. In de bijlage is middels pseudo-code in meer detail weergegeven hoe het algoritme werkt en hoe de simulatie geprogrammeerd is.

Met de volgende doelfunctie wordt de het resultaat bepaald van de nieuwe route die wordt opgesteld in de annealing fase:

$$NewOutcome = Td + \frac{KnB}{Ti * Cw}$$

Waarbij geldt:

Parameter	Betekenis
Cw	Constate waarde
Td	Totale reistijd afgelegd in seconden + handelingstijd van het aan-/afkoppelen van karren/producten in seconden
KnB	Aantal karren/producten niet bezorgd
Ti	Cooling parameter in iteratie i
$NewOutcome$	Uitkomst van de nieuwe route in seconden

Tabel 5-1 Variabelen bepalen uitkomst route

In de formule waarin de uitkomst wordt bepaald is er gekozen om de constante waarde te vermenigvuldigen met de waarde van de cooling parameter. Hierdoor wordt het effect van het niet bezorgde karren bij een lagere waarde van de cooling parameter groter op de uitkomst.

Aan de hand van de uitkomst die de nieuwe route heeft, wordt er bepaald wat de kans op acceptatie is van deze route als die niet beter is dan de route die als huidig staat. Deze kans wordt berekend door de exponentiële macht te nemen van het verschil in de uitkomst gedeeld door de waarde van de cooling parameter op dat moment. De formule is hieronder weergegeven:

$$p = e^{\frac{(NewOutcome - CurrentOutcome)}{Ti}}$$

Parameter	Betekenis
p	Kans op acceptatie
$NewOutcome$	Uitkomst nieuw opgestelde route in seconden
$CurrentOutcome$	Uitkomst route die als huidig staat in seconden
Ti	Cooling parameter in iteratie i

Tabel 5-2 Variabelen bepalen kans op acceptatie route

De cooling schedule bepaalt de methode van daling van de waarde van de cooling parameter gedurende de annealing fase.

In de experimenten zal er gekeken worden naar een goed werkende cooling schedule voor het Simulated Annealing gedeelte van het algoritme. Zoals eerder in hoofdstuk 2 is opgemerkt, zijn er twee methodes die voor het afkoelen van de cooling parameter het meest worden gebruikt. Dit zijn de volgende formules:

$$T_i = T_{i-1} * \alpha$$

En

$$T_i = \frac{c}{\log(1 + i)}$$

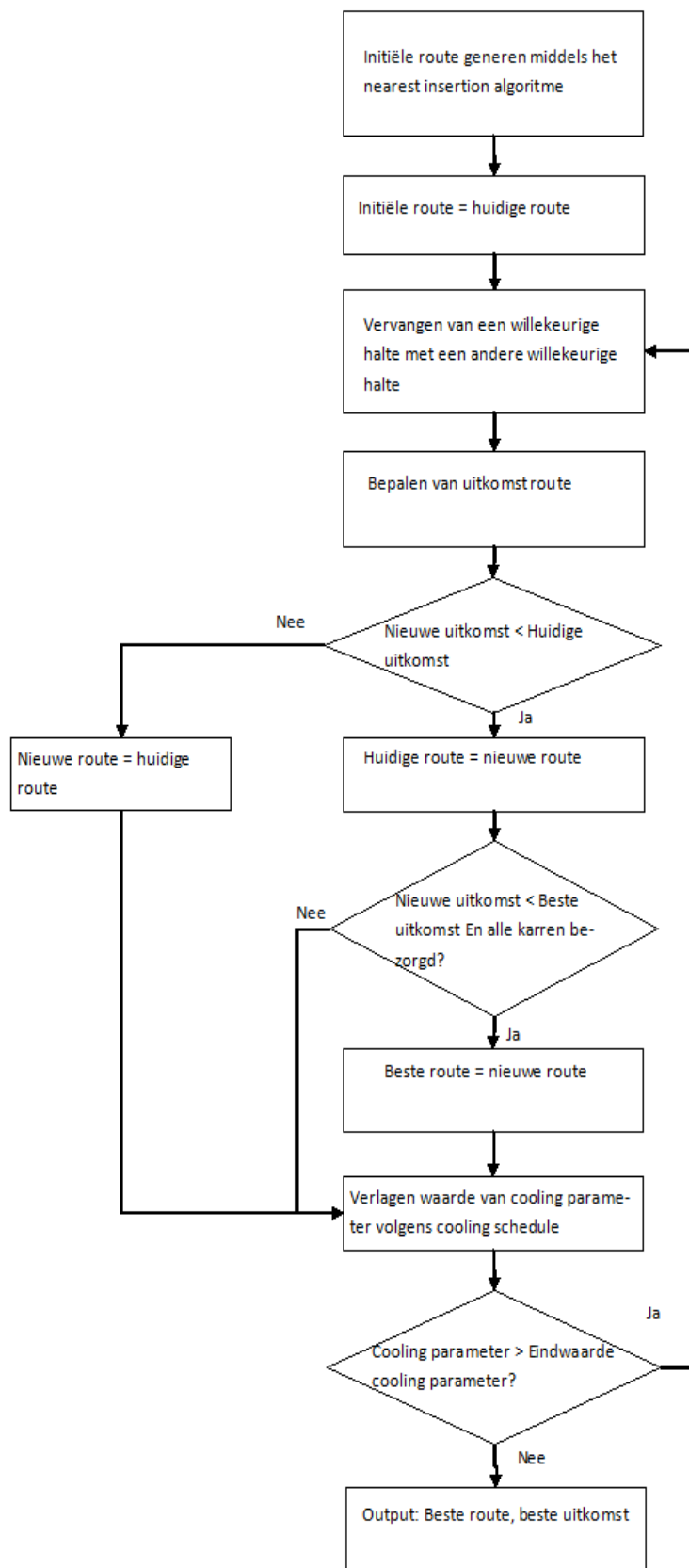
In tabel 5-3 is uitgelegd waar de verschillende parameters in de formule voor staan.

Parameter	Betekenis
T_i	Cooling parameter in iteratie i
i	Iteratie i
c	Constante factor

Tabel 5-3 Variabelen cooling schedule

Doordat de cooling parameter elke iteratie een nieuwe waarde aanneemt, zijn er geen overgangsfasen met dezelfde kansverdeling te definiëren tussen de iteraties in de verschillende toestanden van een spoorboekje. Dit betekent dat er per keer dat het algoritme gedraaid wordt er een aantal markov ketens gelijk aan het totale aantal iteraties met een lengte van 1 zijn.

In figuur 5-2 is in een flow chart visueel weergegeven hoe de simulated annealing fase in zijn werk gaat voor het voorgestelde probleem.



Figuur 5-2 Flow chart Simulated Annealing

5.3. Setup

De eigenschappen van de computer waarop de experimenten worden uitgevoerd, zijn van grote invloed op de rekentijd die de computer nodig heeft voor een experiment. Daarom is het van belang dat de experimenten steeds op dezelfde computer worden uitgevoerd. De experimenten die in dit onderzoek zullen worden gedaan, zijn uitgevoerd op een computer met de volgende specificaties:

- Processor: Intel® Core™ i5-2540M CPU @ 2.60 GHz 2.60GHz
- Installed memory (RAM): 4.00 GB (3.41 GB usable)
- System Type: 32-bit Operating System
- Configuration: Windows 7 enterprise

5.4. Experimenten

In de experimenten is er gezocht naar een start- en eindwaarde van de cooling parameter en een cooling schedule die adequaat werkt voor dit type probleem.

In de volgende tabel is weergegeven welke parameters zijn aangepast voor de experimenten. De waarden voor de parameters zijn bepaald aan de hand van eerdere testen met het algoritme die in dit verslag verder buiten beschouwing zullen worden gelaten. Aan de hand van deze testen is de experimenten opstelling opgesteld. Bij de logaritmische cooling schedule is voor de waarde van de constante c (zie voor meer uitleg over deze cooling schedule paragraaf 5.2.) steeds de startwaarde van de cooling parameter genomen. In het geval van een lineaire cooling schedule (zie voor meer uitleg over deze cooling schedule paragraaf 5.2.) is in deze kolom de waarde van α weergegeven.

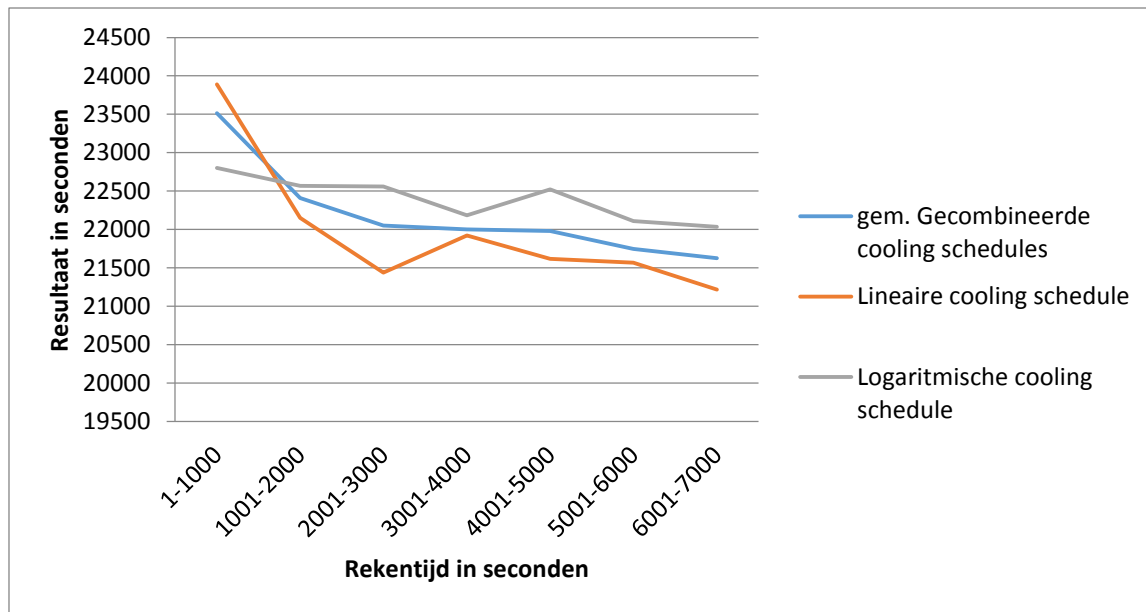
Scenario	Startwaarde Cooling parameter $T(0)$	Eindwaarde Cooling parameter $T(\text{einde})$	Cooling schedule (logaritmisch of lineair (α))	Constante waarde (Cw)	Aantal Experimenten
1	1	0,1	Logaritmisch	0,000000001	3
2	1,1	0,1	Logaritmisch	0,000000001	3
3	1,2	0,1	Logaritmisch	0,000000001	3
4	1,25	0,1	Logaritmisch	0,000000001	3
5	1,3	0,1	Logaritmisch	0,000000001	3
6	22	2	Logaritmisch	0,000000001	3
7	23	2	Logaritmisch	0,000000001	3
8	23,5	2	Logaritmisch	0,000000001	3
9	24	2	Logaritmisch	0,000000001	3
10	25	2	Logaritmisch	0,000000001	3
11	25,5	2	Logaritmisch	0,000000001	3
12	26	2	Logaritmisch	0,000000001	3
13	26,5	2	Logaritmisch	0,000000001	3
14	26,75	2	Logaritmisch	0,000000001	3

15	100	0,1	0,9999	0,000000001	3
16	100	0,1	0,99999	0,000000001	3
17	100	0,001	0,999961	0,000000001	3
18	100	0,001	0,999965	0,000000001	3
19	100	0,001	0,9999	0,000000001	3
20	100	0,001	0,999975	0,000000001	3
21	1	0,001	0,9999	0,000000001	3
22	1	0,01	0,99999	0,000000001	3
23	10000	0,01	0,95	0,000000001	3
24	10000	0,01	0,96	0,000000001	3
25	10000	0,01	0,97	0,000000001	3
26	10000	0,01	0,98	0,000000001	3
27	10000	0,01	0,99	0,000000001	3
28	10	0,0001	0,9999	0,000000001	3
29	10	0,0001	0,99996	0,000000001	3
30	10	0,0001	0,99998	0,000000001	3
31	10	0,0001	0,999975	0,000000001	3
32	10	0,0001	0,999978	0,000000001	3
33	10	0,0001	0,999965	0,000000001	3

Tabel 5-4 Opzet experimenten

5.5. Resultaten

Uit de experimenten is gebleken dat de setup met een lineaire cooling schedule beter presteert dan de logaritmische cooling schedule. De resultaten van de experimenten zijn in detail in bijlage C en in bijlage D weergegeven. In bijlage C is per experiment opeenvolgend bij de tabel output van boven naar beneden af te lezen: de uitkomst in seconden, de uitkomst in minuten, het aantal iteraties, de iteratie waarin de beste uitkomst is gevonden en tenslotte de rekentijd in seconden. In bijlage D is deze data nog wat overzichtelijker weergegeven (de uitkomst is hier weergegeven in seconden en de rekentijd is weergegeven in seconden). De data uit de sheet die te zien is in bijlage D is gebruikt voor het samenstellen van figuur 5-3. In bijlage C staan er twee kolommen met daarin start en eind temperatuur vermeld, hiermee wordt de start- en eindwaarde van de cooling parameter bedoeld. Ook staat er in bijlage C een kolom waarin gesproken wordt over de cooling parameter, hiermee wordt echter de cooling schedule bedoeld.



Figuur 5-3 Resultaten experimenten

In figuur 5-3 valt duidelijk te zien wat de extra rekentijd oplevert voor de totale tijd die de intern transporteur bezig is. Er dient hier wel enige slag om de arm gehouden te worden dat er per afstelling van de startwaarde en eindwaarde van de cooling parameter en seed value een verschillend resultaat met een vergelijkbare rekentijd zal kunnen komen. Bij een rekentijd tussen de 4.000 en 5.000 seconden lijkt het algoritme een goed resultaat te vinden en wordt het resultaat met een langere rekentijd nog maar marginaal verbeterd. Met een dergelijke rekentijd hebben we gezocht naar een oplossing voor het voorgestelde probleem in paragraaf 1.6. (startwaarde cooling parameter van 100 ($T(0) = 100$), eindwaarde van de cooling parameter van 0,001 ($T(\text{eind}) = 0,001$), een constante waarde van 1 ($C_w = 1$), een seed value van 2 en een lineaire cooling schedule waarbij geldt $\alpha = 0,999998$). Met deze waarden zijn we gekomen tot een oplossing van 36,5 minuten met een rekentijd van 4607 seconden. Dit is een verbetering van ruim 38% vergeleken met de beste uitkomst van externe partijen. Deze oplossing is weergegeven in tabel 5-5. Hierbij is per transportstap aangegeven wat de aankomsttijd in minuten is, waar de transporteur start en waar de transporteur eindigt. Daarnaast is nog aangegeven hoeveel cadeaus de transporteur meeneemt vanuit het startpunt en hoeveel cadeaus de transporteur aflevert in het eindpunt (en van wie deze afgeleverde cadeaus zijn).

Aankomsttijd (minuten)	Startpunt	Wat	Eindpunt
0	Anna	4 cadeaus ophalen bij Anna. 3 cadeaus leveren van Anna aan Dirk.	Dirk
4	Dirk	3 cadeaus ophalen bij Dirk. 3 cadeaus afleveren van Dirk aan Anna.	Anna
8	Anna	2 cadeaus ophalen bij Anna.	Eduard
10	Eduard	1 cadeau ophalen bij Eduard. 2 cadeaus afleveren	Cornelis

		van Anna aan Cornelis. 1 cadeau afleveren van Eduard aan Cornelis.	
14,5	Cornelis	3 cadeaus ophalen bij Cornelis. 2 cadeaus afleveren van Cornelis aan Bernard. 1 cadeau afleveren van Anna aan Bernard.	Bernard
17,5	Bernard	3 cadeaus ophalen bij Bernard. 2 cadeaus afleveren van Bernard aan Dirk. 1 cadeau afleveren van Cornelis aan Dirk.	Dirk
21	Dirk	3 cadeaus ophalen bij Dirk. 2 cadeaus afleveren van Dirk aan Eduard. 1 cadeau afleveren van Bernard aan Eduard.	Eduard
23	Eduard	3 cadeaus ophalen bij Eduard. 2 cadeaus afleveren van Eduard aan Bernard. 1 cadeau afleveren van Dirk aan Eduard.	Bernard
26,5	Bernard	3 cadeaus ophalen bij Bernard. 3 cadeaus afleveren van Bernard aan Cornelis. 1 cadeau afleveren van Eduard naar Cornelis.	Cornelis
29,5	Cornelis	1 cadeau ophalen bij Cornelis.	Dirk
32,5	Dirk	1 cadeau ophalen bij Dirk. 1 cadeau afleveren van Cornelis aan Eduard.	Eduard
34,5	Eduard	1 cadeau ophalen bij Eduard. 1 cadeau afleveren van Eduard bij Anna. 1 cadeau afleveren van Dirk aan Anna.	Anna
36,5	Anna	-----Einde route-----	Einde route

Tabel 5-5 Uitkomst voorgestelde methode cadeauprobleem

Naar aanleiding van de bevindingen uit de experimenten hebben we de waarden bepaald van de parameters. Daarom adviseren voor het probleem van Fokker om met de volgende waarden voor de parameters het algoritme uit te laten voeren:

	Advieswaarden
Startwaarde cooling parameter $T(0)$	100
Eindwaarde cooling parameter $T(\text{einde})$	0,001
Cooling parameter α	0,999975
Constante Waarde C_w	0,0000000001
Seed Value	2

Tabel 5-6 Parameters Simulated Annealing

Met deze instellingen is de simulatie gekomen tot een uitkomst van 21043 seconden. Aan de hand van de uitkomst met de eerder genoemde parameters in deze paragraaf en de vraag aan karren (bijlage E), reisafstanden in seconden (bijlage F) en een handelingstijd van 120 seconden voor het aan-/afkoppelen van een transportkar of het in-/uitladen van producten op een transportkar (zie voor de uitleg hiervoor paragraaf 3.2.) tussen de gedefinieerde

bushaltes (zie voor uitleg voor de keuzes hierin paragraaf 4.4.), is het volgende spoorboekje opgesteld:

Tijd	Startpunt	Wat	Eindpunt
8:00	Magazijn voor	Ophalen kar voor shelters en PAC-3	Shelters
8:06	Shelters	Afleveren onderdelen voor de shelters en producten voor magazijn meenemen	Pac-3
8:10	Pac-3	Afleveren kar vanuit magazijn en producten voor spuitertij meenemen	Magazijn voor
8:16	Magazijn voor	Afleveren producten shelters en karren voor de badenlijn meenemen	Magazijn achter
8:20	Magazijn achter		Badenlijn centraal
8:25	Badenlijn centraal	Karren van magazijn afleveren en kar voor machining p21 en magazijn achter meenemen	Machining P35
8:27	Machining P35	Kar van magazijn achter afleveren	Machining P21
8:31	Machining P21	Kar van badenlijn afleveren	Machining P35
8:36	Machining P35	Kar voor magazijn achter meenemen	Magazijn achter
8:41	Magazijn achter	Kar van badenlijn en kar van machining p35 afleveren en kar voor machining p20 meenemen	Machining P35
8:46	Machining P35	Kar voor badenlijn meenemen	Machining P20
8:50	Machining P20	Kar van magazijn achter afleveren	Machining P35
8:55	Machining P35	Kar voor badenlijn meenemen	Badenlijn centraal
9:00	Badenlijn centraal	Karren van machining p35 afleveren en kar voor machining p12 meenemen	Machining P35
9:05	Machining P35	Kar voor Pac-3 meenemen	Machining P12
9:11	Machining P12	Kar van badenlijn afleveren	Magazijn voor
9:15	Magazijn voor	Kar voor Ariane meenemen	Ariane aan
9:18	Ariane aan	Kar van magazijn afleveren	Magazijn voor
9:23	Magazijn voor	Meenemen kar voor Spuitertij grote producten.	Pac-3
9:29	Pac-3	Kar van machining P35 afleveren	Spuitertij grote producten
9:38	Spuitertij grote producten	Afleveren kar van magazijn voor. Karren voor A380/A400M/G650 Sabo meenemen.	A380/A400M/G650 Samenbouw
9:45	A380/A400M/G650 Samenbouw	Karren van spuitertij grote producten afleveren en 2 karren voor spuitertij meenemen	Pac-3
9:54	Pac-3		Spuitertij grote producten
9:57	Spuitertij grote	2 karren van A380 Sabo afleveren en	Shelters



	producten	kar voor shelters meenemen en Pac-3 meenemen	
10:00	Shelters	Kar van Spuiterij grote producten afleveren	Pac-3
10:03	Pac-3	Kar voor magazijn meenemen	Ariane uit
10:08	Ariane uit	Kar voor magazijn meenemen	Magazijn voor
10:08	Pauze-----	Pauze-----	Pauze-----
10:23	Magazijn voor	Kar van magazijn voor en Ariane uit afleveren. 2 Karren voor apache subs meenemen	Apache subs
10:30	Apache subs	Karren vanuit magazijn voor afleveren en kar voor magazijn voor meenemen.	Magazijn voor
10:35	Magazijn voor	Kar van apache subs afleveren en kar voor apache samenbouw en mallenbouw meenemen	Magazijn achter
10:38	Magazijn achter		Apache Samenbouw
10:45	Apache samenbouw	Afleveren kar van magazijn voor en meenemen kar voor spuiterij kleine producten	Mallenbouw
10:48	Mallenbouw	Afleveren kar van magazijn voor	Spuiterij kleine producten
10:54	Spuiterij kleine producten	Afleveren kar van apache samenbouw en kar voor apache samenbouw en JSF center meenemen.	Apache samenbouw
11:01	Apache samenbouw	Kar van spuiterij kleine producten afleveren	Handverspaning
11:03	Handverspaning	Producten voor spuiterij kleine producten meenemen.	JSF center
11:06	JSF center	Producten van Spuiterij kleine producten afleveren. Producten voor spuiterij kleine producten meenemen	Shelters
11:09	Shelters		Spuiterij kleine producten
11:15	Spuiterij kleine producten	Producten van JSF center en handverspaning afleveren. Kar voor apache subs en badenlijn meenemen	Apache subs
11:21	Apache subs	Afleveren kar van spuiterij kleine producten.	Machining P21
11:23	Machining P21		Badenlijn centraal
11:26	Badenlijn centraal	Afleveren kar van spuiterij. Meenemen karren voor magazijn achter	Magazijn achter

11:31	Magazijn achter	Afleveren karren van badenlijn centraal.	Mallenbouw
11:36	Mallenbouw	Meenemen kar voor magazijn voor	Magazijn achter
11:41	Magazijn achter		Magazijn voor
11:46	Magazijn voor	Afleveren kar van mallenbouw en meenemen kar voor NDO en kar voor spuitery kleine producten.	NDO
11:53	NDO	Afleveren kar van magazijn voor. Meenemen producten voor spuitery.	Spuitery kleine producten
12:01	Spuitery kleine producten	Afleveren producten van NDO en Magazijn voor.	Debagging
12:07	Debagging	Meenemen producten voor magazijn achter	Magazijn achter
12:13	Lunchpauze-----	Lunchpauze-----	Lunchpauze-----
12:43	Magazijn achter	Afleveren producten van NDO en magazijn achter	JSF flap
12:51	JSF Flap	Meenemen kar voor spuitery grote producten	Pac-3
12:56	Pac-3		Spuitery grote producten
12:59	Spuitery grote producten	Afleveren kar van JSF flap en meenemen kar voor A380/A400M/G650 Samenbouw en JSF flapperon	Pac-3
13:02	Pac-3		A380/A400M/G650 Samenbouw
13:09	A380/A400M/G650 Samenbouw	Afleveren kar van spuitery grote producten en meenemen kar voor spuitery groter producten	JSF flapperon
13:12	JSF flapperon	Afleveren kar van spuitery grote producten	Debagging
13:17	Debagging		Spuitery grote producten
13:26	Spuitery grote producten	Afleveren kar van A380/A400M/G650 Samenbouw en JSF flapperon.	Apache subs
13:32	Apache subs		Machining P12
13:35	Machining P12		Machining P35
13:39	Machining P35	Meenemen kar voor badenlijn centraal.	Badenlijn centraal
13:45	Badenlijn centraal	Afleveren kar van magazijn achter.	Magazijn achter
13:48	Magazijn achter		NDO
13:52	NDO	Meenemen producten voor magazijn voor en magazijn achter	Magazijn achter
13:56	Magazijn achter	Afleveren producten van NDO	Magazijn voor
14:01	Magazijn voor	Afleveren producten van NDO en	Apache subs



meenemen kar voor JSF-center en A380/A400M/G650 Samenbouw.			
14:05	Apache subs		JSF flapperon
14:11	JSF flapperon		A380/A400M/G650 samenbouw
14:15	A380/A400M/G650 samenbouw	Afleveren kar van magazijn voor.	JSF center
14:20	JSF center	Afleveren kar van magazijn en producten voor spuitrij meenemen	PAC-3
14:23	PAC-3		Spuiterij kleine producten
14:34	Spuiterij kleine producten	Afleveren producten JSF center	Magazijn voor
14:40	Magazijn voor		Einde route

Tabel 5-7 spoorboekje nieuwe situatie

In het spoorboekje zijn de locaties te zien en wat de intern transporteur dient mee te nemen en af te leveren in de halte. De informatie voor de transporteur welke kar moet worden opgehaald en bezorgd valt niet terug te lezen uit de resultaten die zichtbaar zijn in de output die in Excel wordt gegeven. De basis voor het bepalen welke karren moeten worden opgehaald en afgeleverd wordt in plaats daarvan bepaald door het principe dat de transporteur altijd zoveel mogelijk karren pakt die op de halte klaar staan. In het geval dat er meer karren meegenomen dienen te worden dan de capaciteit aankan, neemt de transporteur de karren mee voor de haltes die het snelst zullen worden bezocht volgens het spoorboekje.

In tabel 4-1 kunnen de namen van de locaties van de haltes worden gevonden en hieruit kan er vervolgens voor een overzichtelijk visueel beeld bij de benamingen van de locaties in figuur 4-1 en figuur 4-2 gekeken worden.

Bij het samenstellen van deze tabel is er geen rekening gehouden met het integreren van time-windows voor het bezorgen van producten die mogelijkerwijs zouden kunnen worden opgelegd door bepaalde productieafdelingen. Er is echter de mogelijkheid om alsnog time-windows te introduceren in het opgestelde spoorboekje. In het spoorboekje kan gezien worden dat het transportvoertuig vaak zonder lading bij de halte magazijn voor aankomt. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid om sommige blokken van transporten (transporten tussen haltes tot het moment dat het transportvoertuig weer terug is bij magazijn voor) tussen de aankomstmomenten bij magazijn voor om te wisselen met elkaar. Hierdoor wordt de mogelijkheid gecreëerd om in te kunnen spelen op bepaalde behoeften binnen productieafdelingen, mocht dat nodig zijn. Echter blijft het de vraag of deze mogelijkheid voldoende flexibiliteit biedt om te voldoen aan de eisen vanuit de productieafdelingen. Wij verwachten echter dat dit wel voldoende moet zijn. Bij deze verwachting speelt de lange doorlooptijd van het productieproces een belangrijke rol (zoals eerder vermeld bij paragraaf 4-7).

Om te zien wat de invloed van een andere capaciteit is op de uitkomst van het algoritme hebben we deze aangepast binnen Excel en het algoritme opnieuw uitgevoerd. Hierbij zijn dezelfde parameters genomen zoals die zijn opgesteld zijn voor het spoorboekje met een capaciteit van twee (de waarden voor deze parameters zijn terug te vinden in tabel 5-6). De resultaten zijn af te lezen in tabel 5-8.

Capaciteit	Uitkomst
1 kar	26753 seconden
2 karren	21043 seconden
3 karren	19876 seconden
4 karren	19085 seconden

Tabel 5-8 Gevoeligheidsanalyse capaciteit

Zoals kan worden afgelezen uit bovenstaande tabel zijn de verschillen in de tijd die nodig is voor het transporteren van de transportkarren over het terrein. Hier kan worden gezien dat er een verschil van meer dan een half uur (daling van 9,3%) zit tussen de uitkomst waarbij er twee transportkarren gekoppeld worden aan het Spijkstaalvoertuig (de capaciteit waar we voor hebben gekozen om de route op te baseren) en de uitkomst waarbij er vier karren gekoppeld worden aan het Spijkstaalvoertuig. Een capaciteit van één leidt tot een stijging van dik anderhalf uur in de totale transporttijd (stijging van 27,1%).

In onderstaande figuur valt een spaghetti-diagram te zien waarin de route die op een dag in de nieuwe situatie wordt afgelegd, wordt weergegeven. In deze figuur ogen de lijnen minder dik en lijkt het erop dat er daadwerkelijk minder gereisd wordt door de intern transporteur op het terrein.



Figuur 5-4: spaghetti-diagram nieuwe situatie

5.6. Conclusie

In dit hoofdstuk hebben we het algoritme dat gebruikt wordt toegelicht en beschreven hoe het is geïmplementeerd binnen de Excel Visual Basic. Hierna zijn de experimenten die we hebben uitgevoerd beschreven en is er gekeken naar de resultaten hiervan. Uit deze resultaten concluderen we dat een lineaire cooling schedule goed werkt voor het intern transportprobleem zoals het bij Fokker geldt. Ook wordt de vergelijking getrokken met het door ons gegenereerde resultaat en de resultaten van personen met een vergelijkbare studieachtergrond op het eerder voorgestelde probleem in paragraaf 1.6. Het blijkt dat de door ons voorgestelde methode antwoorden levert die een stuk beter zijn vergeleken met de antwoorden van externe partijen.



6. Conclusies en aanbevelingen

6.1. Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de resultaten die in de vorige hoofdstukken zijn besproken, worden behandeld. Er zal worden geconstateerd wat voor conclusies er getrokken kunnen worden uit deze resultaten en wat voor gevolgen dat met zich meebrengt voor de vestiging van Fokker Aerostructures waar dit onderzoek zich op heeft gericht. Hierbij zal gekeken worden of er een passend antwoord is gegeven op de in hoofdstuk 1 opgestelde hoofd- en deelvragen. Hierna zal een kosten- en batenanalyse worden gegeven van de voorgestelde oplossing. Tenslotte zal dit hoofdstuk een paragraaf bevatten met aanbevelingen voor Fokker Aerostructures die aan de hand van dit onderzoek naar voren zijn gekomen.

6.2. Conclusies

In paragraaf 1.4. is de volgende hoofdvraag van het onderzoek opgesteld:

Hoe kan er voor Fokker Aerostructures een adequaat spoorboekje met standaard frequenties voor de te rijden routes van gebouw tot gebouw worden opgesteld?

In deze paragraaf zijn ook enkele doelen opgesteld die willen worden behaald met het leveren van een antwoord op de hoofdvraag. Dit waren:

- *Het opstellen van een spoorboekje met standaard frequenties wat gevolgd zal worden door de logistiek medewerker(s).*
- *Het reduceren van het aantal spoedtransporten.*
- *Het reduceren van het aantal transporten dat door de productiemedewerkers tussen de verschillende gebouwen op het bedrijventerrein plaatsvindt.*

Tenslotte zijn er in paragraaf 1.10. een aantal deliverables gedefinieerd. Dit waren:

- *Een spoorboekje met hierin duidelijke richtlijnen voor de logistiek medewerkers met standaard frequenties en duidelijk aangegeven hoe de spoedtransporten zullen worden opgepakt*
- *Een heuristiek waarmee in de toekomst in Excel eenvoudig de route weer kan worden bepaald in het geval van een nieuw productieprogramma dat wordt gestart of een aanpassing in de layout op het terrein of binnen een gebouw.*

Om tot een antwoord tot deze hoofd onderzoeksvraag te komen zijn er eerst een aantal zaken onderzocht. Zo is in hoofdstuk 2 de relevante literatuur voor de vraagstelling gegeven. Hier zijn mogelijkheden binnen het vormgeven van het opzetten van een milk-run systeem weergegeven en is er uiteindelijk besloten tot het opstellen van het spoorboekje middels het two-stage Simulated Annealing principe.

Vervolgens is in hoofdstuk 3 de huidige situatie beschreven zoals die bij aanvang van het onderzoek was. De stromen aan producten over het terrein zijn onderzocht en data om een spoorboekje te kunnen opstellen is in dit hoofdstuk verzameld.

Bij hoofdstuk 4 zijn er bepaalde knopen doorgehakt om het nieuw voor te stellen systeem vorm te geven. Zo is hier bepaald welke producten vervoerd zullen worden door de logistiek medewerkers, waar er vervoerd zal worden door de intern transporteurs, welke transportkarren er gebruikt zullen worden voor het interne transport en tenslotte bij welke afdeling in de toekomst de verantwoordelijkheid zal liggen om spoedtransporten af te handelen.

In hoofdstuk 5 is de methode beschreven waarmee het spoorboekje wordt bepaald. Er is behandeld hoe de experimenten zijn ingedeeld en wat de resultaten van de experimenten zijn. Hieruit is de conclusie getrokken welke afstellingen voor de parameters voor dit type probleem goed werken. In paragraaf 5.5. is uiteindelijk een passend antwoord gegeven op de hoofdvraag. Hier is een routeschema samengesteld dat voldoet aan alle eisen die van tevoren zijn opgesteld door de belanghebbenden.

Hieruit kan de conclusie getrokken worden dat de hoofdvraag is beantwoord en dat alle eerder opgestelde deelvragen ook zijn behandeld. Er is in kaart gebracht welke literatuur er op het vlak van onderzoek is, de huidige situatie op het gebied van intern transport is beschreven, het nieuwe systeem is beschreven en tenslotte is er een routeschema opgesteld.

Daarnaast zijn ook de deliverables die in hoofdstuk 1 waren opgesteld, opgeleverd. Het routeschema wordt in paragraaf 5.5. weergegeven. Bij een verandering in de data is er vrij eenvoudig een nieuwe route te bepalen. In hoofdstuk 5 is bij de resultaten van de experimenten weergegeven hoe het veranderen van de parameters invloed uitoefent op het samenstellen van de routes. Hierdoor kan er een inschatting gemaakt worden hoe het programma reageert op het aanpassen van de bepaalde parameters. Bovendien is het algoritme, zoals in de desbetreffende deliverable is opgenomen, volledig binnen Excel en een extensie van Excel verwerkt. Daarom kan er in de toekomst vrij eenvoudig een nieuwe samenstelling van routes worden opgesteld.

Binnen material handling scheelt het implementeren van het nieuwe spoorboekje een fte. Dit komt neer op 2500,- * 1,33 * 12 = €39.900 per jaar. Daarnaast zijn er kostenvoordelen die lastiger in te schatten zijn. Zo wordt er binnen de verschillende productieafdelingen tijd bespaard op de volgende aspecten: aanmelden van transporten als spoed, transporteren van onderdelen over het terrein onder de arm, afstemming naar vorige/volgende productieafdeling over planning productieproces, zoeken naar materiaal op het terrein. Vandaar dat er drie scenario's voor zijn opgesteld:

- Worst case scenario: de voordelen die worden behaald bij de productieafdelingen worden niet omgezet in besparingen, waardoor de kostenvoordelen blijven bij de kostenvoordelen behaald bij material handling
- Middle case scenario: de voordelen die worden behaald bij de productieafdelingen worden deels omgezet in besparingen, waardoor er in totaal één FTE wordt bespaard

binnen productie. Dit gaat om een extra besparing van $3000,- * 1,33 * 12 = €48.880,-$ per jaar

- Best case scenario: de voordelen die worden behaald bij de productieafdelingen worden volledig omgezet in besparingen, waardoor er in totaal twee FTE's worden bespaard binnen productie. Dit gaat om een extra besparing van $3000,- * 1,33 * 24 = €95.760,-$ per jaar

Tegelijkertijd zijn er kosten voor het invoeren van het voorgestelde spoorboekje. Zo zijn er kosten voor het aanschaffen van metalen frames en zijn er kosten voor het aanpassen van de transportkarren. De frames moeten worden aangeschaft voor de visuele implementatie van het voorgestelde transportsysteem. De kosten hiervoor bedragen €1.056,-. Het aanpassen van de transportkarren kost in totaal €45.580,-. In tabel 6-1 zijn de gevolgen van de geschetste scenario's naast elkaar gezet.

	Besparingen	Kosten	Totale besparing
Worst case scenario	€39.900,- per jaar	€46.636,- eenmalig	1 ^e jaar -€5.680,-, 2 ^e jaar €34.220,- daarna €39.900,- per jaar
Middle case scenario	€88.780,- per jaar	€46.636,- eenmalig	1 ^e jaar €43.200,- , daarna €88.780,- per jaar
Best case scenario	€137.660,- per jaar	€46.636,- eenmalig	1 ^e jaar €92.080,- , daarna €137.660,- per jaar

Tabel 6-1 Kostenvoordelen voorgesteld transportsysteem

In de tabel valt af te lezen dat in het slechtste geval de investeringen binnen twee jaar worden terugverdiend. Hierna wordt er bespaard. In het middelste en beste geval worden de investeringen het eerste jaar al terugverdiend.

Naast de voordelen op financieel vlak wordt er ook op het gebied van veiligheid vooruitgang geboekt. Zo weten de productiemedewerkers voortaan wanneer de intern transporteur langskomt en door de fabriek rijdt waardoor de kans op ongelukken verminderd. Daarnaast zijn er vaste locaties aangewezen voor het opslaan van het te verplaatsen materiaal. Dit zorgt voor een veiligere situatie binnen het productieterrein.

6.3. Aanbevelingen

Naar aanleiding van de resultaten en conclusies van het gedane onderzoek, zullen er een drietal aanbevelingen worden gedaan in deze paragraaf.

Aanbeveling 1: implementeer het nieuw voorgestelde transportsysteem met de daarbij behorende routes



In de huidige situatie wordt het intern transport door twee transporteurs gedaan. In de toekomst zal dit echter met een transporteur gedaan kunnen worden. Het is daarom goed om te kijken of deze FTE ergens anders kan worden ingezet of dat dat deze fte omgezet kan worden in directe bezuinigingen.

Aanbeveling 2: Zorg voor de it-infrastructuur zodat de producten en karren gescand kunnen worden.

Het is aan te bevelen voor het bedrijf om de it-infrastructuur aan te passen zodat het Wi-Fi-netwerk goed werkt op de locaties waar barcodes gescand moeten worden. De informatie die een scanner doorgeeft aan de computer wordt via het Wi-Fi-netwerk gestuurd. Op het moment is het netwerk echter zeer traag, zijn er veel storingen en heb je er niet altijd bereik. Hierdoor werkt het systeem niet zoals het oorspronkelijk bedacht is.

Aanbeveling 3: Maak ook visueel kenbaar hoe de routes zijn opgesteld en hoe het nieuwe transportsysteem in elkaar steekt

Het nieuwe transportsysteem moet niet alleen onder de afdeling waar het bedacht is gaan leven, maar ook bij de productiemedewerkers. Zij hebben nu immers tijden om naar toe te werken

Daarnaast is het goed als de intern transporteur gelijk kan zien waar een product naar toe moet worden vervoerd. Dit kan gedaan worden door bijvoorbeeld de stellingen bepaalde kleuren te geven voor in- en uitgaande producten.

7. Discussie

7.1. Inleiding

In dit hoofdstuk zal er teruggeblikt worden op het onderzoek dat heeft plaatsgevonden en zullen de kritische kanttekeningen die mogelijkwijs bij het onderzoek kunnen worden geplaatst gegeven worden en zullen de beperkingen worden genoemd. Tenslotte zullen er suggesties worden gegeven over verder onderzoek wat gedaan kan worden.

7.2. Beperkingen onderzoek

De routes zijn samengesteld op basis van de data die verzameld is uit interviews. Er waren geen mogelijkheden om middels een andere methode data te verzamelen binnen een tijdsvenster dat er nog iets met de data kon worden gedaan. Interviewen maakt data niet volledig betrouwbaar en daarnaast is het maar uit één bron gehaald. Op basis van deze data is de uiteindelijke route opgesteld, maar het kan dus voorkomen dat er in de beginsituatie van het aanvangen van de voorgestelde oplossing bepaalde afdelingen niet vaak genoeg of juist te vaak worden bezocht.

7.3. Verder onderzoek

Op bepaalde gebieden kan er in de toekomst nog verder onderzoek gedaan worden om tot een betere situatie te komen. In paragraaf 1.6. werd al aangekaart dat in dit onderzoek wegens tijdsgebrek zich zal moeten beperken tot een bepaald gebied. In deze paragraaf zullen de onderwerpen waarvan we vinden dat nuttig is dat die in de toekomst zullen worden onderzocht voorgesteld worden.

Verder onderzoek 1, standaardiseren karren:

Zo kan er onderzoek gedaan worden naar het standaardiseren van de transportkarren. Hierbij kan er gekeken worden naar het meer in lijn brengen van de verscheidene transportkarren. Zoals eerder is vermeld, zijn er voor elk productieprogramma verschillende transportkarren en de productieprogramma's hebben vaak ook weer intern verschillende karren.

Verder onderzoek 2, kosten- en batenanalyse RFID-technologie voor lokalisatie producten:

Daarnaast kan er onderzoek gedaan worden naar het beter in kaart brengen van productlokalisatie middels RFID-technologie. In de nieuwe situatie zijn er al stappen gemaakt met het beter in kaart brengen van de locatie van een product door middel van het scannen van barcodes bij het transporteren. Hier blijft echter nog de mogelijkheid van een menselijke fout inzitten doordat de transporteur een keer kan vergeten te scannen of verkeerd scant. Bij RFID-technologie zullen de producten automatisch kunnen worden gescand als deze ergens worden afgeleverd. Dit zal de kans op het kwijt raken van een product nog verder terugdringen en daarnaast scheelt het tijd voor de interne transporteur.

Verder onderzoek 3, kosten- en batenanalyse onderbrengen brengplicht onder verantwoordelijkheid material handling:

Nog iets wat nader onderzocht kan worden is om te kijken of het efficiënter is om de brengplicht die nu geldt binnen de verscheidene productieafdelingen onder te brengen bij het bussysteem. Nu geldt er binnen de productieafdeling dat de desbetreffende afdeling die een productiestap heeft voltooid er verantwoordelijk voor is dat het product naar de volgende productieafdeling wordt gebracht, mits deze productieafdeling zich in hetzelfde gebouw bevindt als hun eigen productieafdeling (brengplicht genaamd). Door dit systeem zijn de productiemedewerkers veel tijd kwijt aan het vervoeren van producten, terwijl dit niet hun voornaamste bezigheid zou moeten zijn. Daarnaast komen de interne transporteurs langs deze afdelingen op het moment dat zij bezig gaan met het transporteren van de producten van halte naar halte. Het is aan te raden om te onderzoeken of het kostenefficiënter is om het vervoer dat nu onder de brengplicht wordt geschaard onder te brengen bij de werkzaamheden material handling en zo als dit het geval is hoe dit kan worden ingericht binnen de nieuwe situatie bij material handling.

Verder onderzoek 4, onderzoek tot mogelijkheden (deels) verschuiven intern transport naar de avonduren:

Verder kan er nog gekeken worden naar de mogelijkheden om 's avonds het transport plaats te laten vinden. Overdag vinden de voornaamste productiewerkzaamheden plaats en hierdoor kan het relatief druk zijn op het terrein. Hierdoor wordt er zo nu en dan werk onder handen op de transportpaden gezet door de productiemedewerkers waardoor de weg geblokkeerd is voor de interne transporteurs en zij dus in hun werk verstoord worden. Daarnaast is de kans op ongelukken kleiner als er minder medewerkers op het terrein zijn wat de veiligheid ten goede komt. Het zou dus nuttig zijn als er wordt gekeken of de transporttaken (deels) naar de avond kunnen worden verplaatst en wat voor gevolgen dit met zich meebrengt.

Verder onderzoek 5, kosten- en batenanalyse asfalteren buitenwegen op het terrein:

Tenslotte kan er gekeken worden naar het asfalteren van het terrein buiten de gebouwen. Op het moment liggen er stelconplaten op het terrein en op sommige plaatsen is het wel geasfalteerd, maar niet meer een geheel vlak (zie figuur 7-1 voor een visuele weergave met een stelconplaat rood omcirkeld). Daarnaast verloopt de overgang van asfalt naar een stelconplaat over het algemeen niet heel soepel. Hierdoor stuiten de transportkarren over het terrein tijdens het transporteren wat zorgt voor kans op schade aan de producten. Daarom is het nuttig om te kijken wat de kosten en de baten zijn van het (deels) asfalteren van het terrein. Hierbij kan ook gekeken worden of het nuttig is om een bepaalde transportbaan te laten asfalteren in plaats van alle stelconplaten en het huidige asfalt van een nieuwe laag asfalt te voorzien.



Figuur 7-1 Wegdek productieterrein, stelconplaat rood omcirkeld

Verder onderzoek 6, onderzoeken van alternatieve methodes om tot een oplossing voor het nieuw geïntroduceerde transportprobleem te komen

Dit onderzoek laat zien hoe een two-stage Simulated Annealing algoritme een oplossing vindt op het voorgestelde probleem. Omdat dit echter een nieuw geïntroduceerd probleem is en het niet vergeleken is met andere methodes om tot een oplossing te komen, staat allesbehalve vast dat dit de beste methode is (dit kan ook per situatie verschillen). Daarom raden we aan om in de toekomst verder onderzoek te doen naar de resultaten geproduceerd door andere heuristieken, metaheuristieken of exacte methoden om tot oplossingen voor het voorgestelde probleem of variaties op dit probleem te komen.

Verder onderzoek 7, onderzoek van prestaties voorgestelde methodiek bij het invoeren van stochastische aanlevertijden, tijdsvensters, meerdere transporteurs,

In het onderzoek is er uitgegaan van een situatie waarin er een enkele transporteur nodig is, de reistijden van de transporteur deterministisch zijn, er geen rekening wordt gehouden met tijdsvensters voor het aanleveren van producten en dat de karren aan het begin van de dag klaarstaan om meegenomen te worden en dat de vraag elke dag hetzelfde is. In de praktijk zijn er echter situaties denkbaar dat bovenstaande aannames niet het geval hoeven te zijn. Daarom kan het nuttig zijn om te kijken naar methodes om tot transportmodellen te komen waarbij deze zaken niet gelden.



Bronvermelding

- Alnahhal, M., & Noche, B. (2015). Dynamic material flow control in mixed model assembly lines. *Computers & Industrial Engineering* 85, 110-119.
- Alnahhal, M., Ridwan, A., & Noche, B. (2014). In-plant Milk Run Decision Problems. *Logistics and Operations Management (GOL), 2014 International Conference on* (pp. 85-92). IEEE.
- Berbeglia, G., Cordeau, J.-F., Gribkovskaia, I., & Laporte, G. (2007). Static pickup and delivery problems: a classification scheme and survey. *TOP Volume 15*, 1-31.
- Berman, O., & Wang, Q. (2006, August). Inbounq Logistics Planning: Minimizing Transportation and Inventory Costs. *Transportation Science Vol. 40, No. 3*, pp. 287-299.
- Bozer, Y. A., & Ciemnoczolowski, D. D. (2013). Performance evaluation of small-batch container delivery systems used in lean manufacturing – Part 1: system stability and distribution of container starts. *International Journal of Production Research*, 555-567.
- Černý, V. (1985). Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm. *Journal of Optimization Theory and Applications Volume 45*, 41-51.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *SUPPLY CHAIN MANAGEMENT Strategy, Planning, and Operation* . Upper Saddle River, New Jersey: Pearson.
- Ciemnoczolowski, D. D., & Bozer, Y. A. (2013). Performance evaluation of small-batch container delivery systems used in lean manufacturing – Part 2: number of Kanban and workstation starvation. *International Journal of Production Research*, 568-581.
- Dantzig, G., & Ramser, J. H. (1959, October). The truck dispatching problem. *Management Science Vol. 6 No. 1*, pp. 80-91.
- Domingo, R., Alvarez, A., Melodia Pena, M., & Calvo, R. (2007). Materials flow improvement in a lean assembly line: a case study. *Assembly Automisation Vol. 27 Iss: 2*, pp. 141-147.
- Dorigo, M., & Gambardella, L. M. (1997, April). Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. *IEEE TRANSACTIONS ON EVOLUTIONARY COMPUTATION, VOL. 1, NO. 1*, pp. 53-66.
- Droste, M., & Deuse, J. (2011). A Planning Approach for In-plant Milk Run Processes to Optimize Material Provision in Assembly Systems. *4th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV2011)* (pp. 605-610). Montreal: Springer.

- Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman, A. (2009, November 4). The vehicle routing problem: A taxonomic review. *Computers and Industrial Engineering Volume 57 Issue 4*, pp. 1472-1483.
- Fokker Aerostructures. (2013). *Specialist in smart integrator solutions*.
- Fokker Technologies. (2014). *Annual Report*.
- Geman, S., & Geman, D. (1984). Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions, and the Bayesian Restoration of Images. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. PAMI-6*, 721-741.
- GKN. (sd). GKN. Opgeroepen op October 24, 2016, van GKN Web Site: <http://www.gkn.com/aboutus/lean-enterprise/Pages/default.aspx>
- Glover, F. (1989). Tabu Search-Part 1. *ORSA Journal on Computing Vol. 1, No. 3*, 190-206.
- Harris, C., & Harris, R. (2004, March 9). 5 Steps to Implementing a Lean Material Handling System. *Lean Directions*.
- Heerkens, H., & Van Winden, A. (2012). *Geen probleem: een aanpak voor alle bedrijfskundige vragen en mysteries*. Buren: Business School Nederland.
- Hiregoudar, C., & Reddy, B. R. (2007). *Facility planning & layout design: an industrial perspective*. Technical Publications Pune.
- Kilic, H. S., Bulent Durmusoglu, M., & Baskak, M. (2012). Classification and modeling for in-plant milk-run distribution systems. *Int J Adv Manuf Technol 62*, pp. 1135-1146.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C., & Vecchi, M. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science, New Series Vol. 220, No. 4598*, 671-680.
- Klenk, E., Galka, S., & Gunther, W. A. (2015). Operating Strategies for In-Plant Milk Run Systems. *IFAC-PapersOnLine 48-3*, pp. 1882–1887.
- Kopecek, P., & Pinte, M. (2014). Optimization Heuristics for Supplies of Assembly Lines. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, pp. 49-52.
- Krafcik, J. F. (1988). *Triumph of the Lean Production System*. Massachusetts: SLOAN MANAGEMENT REVIEW.
- Lin, Y., Bian, Z., Sun, S., & Xu, T. (2015, July 22). A Two-Stage Simulated Annealing Algorithm for the Many-to-Many Milk-Run Routing Problem with Pipeline Inventory Cost. *Mathematical Problems in Engineering Volume 2015*, 22.
- Marchwinski, C. (2003, 10 21). *Lean Enterprise Institute*. Opgeroepen op 11 17, 2016, van Lean.Org: <http://www.lean.org/Common/Display/?o=788>

- Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. N., & Teller, E. (1953). Equation of State Calculations by Fast Computing Machines . *The Journal Of Chemical Physics Volume 21, Number 6*, 1087-1092.
- Nemoto, T., Hayashi, K., & Hashimoto, M. (2010). Milk-Run logistics by Japanese automobile manufacturers in Thailand. *The Sixth International Conference on City Logistics* (pp. 5980-5989). Procedia.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System*. Tokyo: Diamond.
- Qu, T., Fu, H., Huang, Z., Luo, H., & Huang, G. Q. (2014). SYSTEM DYNAMICS ANALYSIS FOR RFID-ENABLED MILK-RUN LOGISTICS IN INDUSTRIAL PARK. *International conference on innovative design and manufacturing* (pp. 172-180). Montreal: IEEE.
- Sadjadi, S., Jafari, M., & Amini, T. (2008). A new mathematical modeling and a genetic algorithm search for milk run problem (an auto industry supplychain case study). *Int J Adv Manuf Technol* (2009) 44, 194–200.
- Savelsberg, M., & Sol, M. (1995). *The general pickup and delivery problem*. Maryland, USA: INFORMS.
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2013). *Operations Management*. Edinburgh Gate: Pearson.
- Sule, D. (1994). *Manufacturing Facilities: Location, Planning, and Design Second Edition*. Boston: PWS Publishing Company.
- Thompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. (2010). *Facilities Planning 4th edition*. New York: John, Wiley & Sons.
- Vaidyanathan, B., Matson, J., Miller, D., & Matson, J. (1999, November). A capacitated vehicle routing problem for just-in-time delivery. *IIE Transactions Volume 31, Issue 11*, pp. 1083-1092.
- Wassan, N. A., & Nagy, G. (2014). Vehicle Routing Problem with Deliveries and Pickups: Modelling Issues and Meta-heuristics Solution Approaches. *International Journal of Transportation Vol. 2 No. 1*, 95-110.
- Webster, J., & Watson, R. T. (2002). *Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing A Literature Review*. Minnesota: University of Minnesota.



A. Bijlage A : verhouding rijden tegenover handelingen

	Percentage tijd rijdend besteed	Percentage tijd besteed aan het aan-/afkoppelen
Intern transporteur 1	55.6%	44.4%
Intern transporteur 2	57.4%	42.6%

Tabel A-1 Tijd besteed aan rijden over het terrein en het aan-/afkoppelen

B. Bijlage B. : Pseudocode Simulated Annealing

Fase 1 (nearest neighbor principe):

Do while $Vraag(x,y) > Vraagvervuld(x,y)$

$x = 1$

Kijk hoeveel karren per halte opgehaald kunnen worden

For $y = 1$ to aantal haltes

Selecteer de halte die het dichtste bij is en waar nog karren moeten worden bezorgd vanuit de halte waar de transporteur zich in bevindt.

If $vraag(x,y) > vraagvervuld(x,y)$ and $afstand = minafstand$ then

For $x=1$ to aantal haltes

$Vraagvervuld(x,y) = \text{Karrenopgepikt vanuit halte } y \text{ voor halte } x \text{ voor die halte} + Vraagvervuld(x,y)$

Next x

$y = x$

Pas de capaciteit aan

Pak alle karren op die beschikbaar zijn in halte y waarbij rekening gehouden wordt met de capaciteit

Pas de capaciteit aan

Goto line1

End If

Next y

For $y = 1$ to aantal haltes

Kijk waar de halte is die het dichtste bij is waar nog karren kunnen worden opgehaald (voor het geval dat nog niet alle vraag is voldaan, maar er niet meer vanuit de halte waar de transporteur zich in bevindt geleverd hoeft te worden aan andere haltes).

If $\text{karrenoptehalen} > 0$ and $afstand(x,y) = minafstand(x,y)$ then

Ga naar deze halte

Pak alle karren op die meekunnen, rekening houdend met de capaciteit.

Pas de capaciteit aan

Goto line1

End if

Next y

For y = 1 to aantal haltes

Kijk welke halte nog geleverd kan worden met de lading die de kar bij zich heeft.
(voor het geval dat alle karren opgehaald zijn en er niet direct vanuit de halte x geleverd hoeft te worden waar de bus zich in bevindt)

If karrenopgehaald > 0 and vraag(x,y) > vraagvervuld(x,y) then

Ga naar deze halte en lever alle karren af die gekoppeld zijn aan het transportvoertuig van de intern transporteur.

Pas de capaciteit aan

End if

Next

Line1:

End If

Loop

Fase 2 (annealing fase):

Do while cooling parameter > eindwaarde cooling parameter

Selecteer een willekeurige halte

Vervang deze halte met een willekeurige andere halte

Voer de invloed van de vervanging door op de afstand die wordt afgelegd en de vraag die wordt voldaan in de route.

Bereken de uitkomst van de nieuwe route met de formule:

$$NewOutcome = Td + \frac{KnB}{Ti * Cw}$$

If nieuwe_uitkomst < huidige_uitkomst then

Huidige_uikomst = Nieuwe_Uitkomst

Huidige_Route = Nieuwe_Route

Else



$$\text{KansAccepererenRoute} = e^{\frac{(\text{Nieuwe_Uitkomst} - \text{Huidige_Uitkomst})}{\text{Temperatuur}}}$$

Genereer een willekeurig getal

If KansAccepererenRoute > Willekeurig_Getal then

accepteren:

Huidige_uikomst = Nieuwe_Uitkomst

Huidige_Route = Nieuwe_Route

Else

Terugzetten naar de huidige route:

Nieuwe_Uitkomst = Huidige_Uitkomst

Nieuwe_Route = Huidige_Route

End If

End if

If Nieuwe_uitkomst < Beste_uitkomst and Sum(Vraag(x,y)) = Sum(Vraagvervuld(x,y))

Then

Beste_uitkomst = Nieuwe_uitkomst

Beste_Route = Nieuwe_route

Iteratie_oplossing_gevonden = i

End if

Cooling parameter verlagen volgens cooling schedule

i = i +1

Loop

Output: Beste_uitkomst AND Beste_Route AND i AND Iteratie_oplossing gevonden

C. Bijlage C. : resultaten experimenten

Lineaire resultaten

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24024		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	400.4		
4	Cooling Parameter:	0.99				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	1134		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	1375		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	13.53906		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24174		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	402.9		
4	Cooling Parameter:	0.99				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	1352		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	1375		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	14.21875		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	23139		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	385.65		
4	Cooling Parameter:	0.99				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	1276		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	1375		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	13.34375		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24601		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	410.0167		
4	Cooling Parameter:	0.98				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	660		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	684		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	6.816406		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24420		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	407		
4	Cooling Parameter:	0.98				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	642		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	684		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	6.703125		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24877		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	414.6167		
4	Cooling Parameter:	0.98				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	9		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	684		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	6.726563		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24456		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	407.6		
4	Cooling Parameter:	0.97				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	415		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	454		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4.59375		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24399		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	406.65		
4	Cooling Parameter:	0.97				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	448		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	454		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4.742188		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24150		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	402.5		
4	Cooling Parameter:	0.97				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	432		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	454		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4.46875		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24359		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	405.9833		
4	Cooling Parameter:	0.96				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	327		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	339		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	3.417969		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24833		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	413.8833		
4	Cooling Parameter:	0.96				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	91		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	339		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	3.386719		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24518		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	408.6333		
4	Cooling Parameter:	0.96				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	301		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	339		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	3.390625		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24479		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	407.9833		
4	Cooling Parameter:	0.95				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	229		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	270		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2.859375		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24833		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	413.8833		
4	Cooling Parameter:	0.95				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	91		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	270		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2.640625		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10000				Transporttijd:	24301		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	405.0167		
4	Cooling Parameter:	0.95				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	256		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	270		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2.558594		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	21340		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	355.6667		
4	Cooling Parameter:	0.999961				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	202324		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	295198		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2958.199		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	21614		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	360.2333		
4	Cooling Parameter:	0.999961				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	190986		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	295198		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2948.117		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	21688		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	361.4667		
4	Cooling Parameter:	0.999961				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	178130		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	295198		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2920.168		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	21200		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	353.3333		
4	Cooling Parameter:	0.99999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	683256		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	690773		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	6786.945		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	21583		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	359.7167		
4	Cooling Parameter:	0.9999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	68458		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	69075		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	694.7031		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	22461		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	374.35		
4	Cooling Parameter:	0.9999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	63385		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	69075		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	683.9844		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	21118		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	351.9667		
4	Cooling Parameter:	0.99999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	675308		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	690773		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	6883.982		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	21333		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	355.55		
4	Cooling Parameter:	0.99999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	690706		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	690773		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	6935.641		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	23654		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	394.2333		
4	Cooling Parameter:	0.9999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	65128		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	69075		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	703.0273		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	23643		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	394.05		
4	Cooling Parameter:	0.9999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	85059		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	115124		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1114.898		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	22442		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	374.0333		
4	Cooling Parameter:	0.9999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	92917		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	115124		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1170.449		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	21663		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	361.05		
4	Cooling Parameter:	0.999978				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	498920		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	523310		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	5295.809		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	21759		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	362.65		
4	Cooling Parameter:	0.999978				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	236022		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	523310		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	5184.914		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	21689		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	361.4833		
4	Cooling Parameter:	0.999978				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	258547		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	523310		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	5390.297		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	21402		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	356.7		
4	Cooling Parameter:	0.999975				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	282123		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	460512		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4755.113		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	21531		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	358.85		
4	Cooling Parameter:	0.999975				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	219125		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	460512		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4434.02		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	21652		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	360.8667		
4	Cooling Parameter:	0.999975				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	281591		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	460512		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4539.191		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	22374		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	372.9		
4	Cooling Parameter:	0.999965				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	314870		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	328935		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	3406.105		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	21625		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	360.4167		
4	Cooling Parameter:	0.999965				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	211024		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	328935		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	3411.941		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	22106		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	368.4333		
4	Cooling Parameter:	0.999965				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	175909		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	328935		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	3310.867		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	21160		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	352.6667		
4	Cooling Parameter:	0.99998				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	346975		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	575641		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	5729.582		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	21426		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	357.1		
4	Cooling Parameter:	0.99998				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	357718		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	575641		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	5629.16		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	21697		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	361.6167		
4	Cooling Parameter:	0.99998				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	257080		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	575641		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	5998.27		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	20928		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	348.8		
4	Cooling Parameter:	0.99996				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	142934		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	287818		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2914.703		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	21509		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	358.4833		
4	Cooling Parameter:	0.99996				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	246237		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	287818		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	3007.061		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	21612		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	360.2		
4	Cooling Parameter:	0.99996				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	146024		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	287818		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2893.104		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	21989		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	366.4833		
4	Cooling Parameter:	0.9999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	76006		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	115124		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1120.137		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	10				Transporttijd:	22200		
3	Eind Temperatuur:	0.0001				Uitkomst:	370		
4	Cooling Parameter:	0.9999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	91969		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	115124		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1132.998		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	21532		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	358.8667		
4	Cooling Parameter:	0.9999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	88861		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	115124		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1164.137		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1				Transporttijd:	21578		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	359.6333		
4	Cooling Parameter:	0.99999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	105987		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	460515		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4589.59		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1				Transporttijd:	21945		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	365.75		
4	Cooling Parameter:	0.99999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	305857		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	460515		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4521.828		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1				Transporttijd:	21151		
3	Eind Temperatuur:	0.01				Uitkomst:	352.5167		
4	Cooling Parameter:	0.99999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	302243		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	460515		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4582.41		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1				Transporttijd:	22991		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	383.1833		
4	Cooling Parameter:	0.9999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	30652		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	69075		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	708.1211		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1				Transporttijd:	22779		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	379.65		
4	Cooling Parameter:	0.9999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	17524		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	69075		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	671.0625		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1				Transporttijd:	22637		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	377.2833		
4	Cooling Parameter:	0.9999				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	62942		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	69075		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	660.6992		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	21958		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	365.9667		
4	Cooling Parameter:	0.999965				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	308946		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	328935		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	3233.293		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	22221		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	370.35		
4	Cooling Parameter:	0.999965				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	257784		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	328935		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	3221.805		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	21664		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	361.0667		
4	Cooling Parameter:	0.999965				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	284284		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	328935		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	3210.781		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	21918		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	365.3		
4	Cooling Parameter:	0.999975				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	318740		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	460512		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4424.373		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	21043		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	350.7167		
4	Cooling Parameter:	0.999975				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	368973		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	460512		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4621.09		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	100				Transporttijd:	22351		
3	Eind Temperatuur:	0.001				Uitkomst:	372.5167		
4	Cooling Parameter:	0.999975				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	410366		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	460512		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4471.832		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

Logaritmische resultaten

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	26.5				Transporttijd:	21850		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	364.1667		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	534074		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	568070		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	5812.777		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	26.5				Transporttijd:	22274		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	371.2333		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	179046		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	568070		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	5644.414		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	26.5				Transporttijd:	22203		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	370.05		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	456394		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	568070		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	5712.195		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	25.5				Transporttijd:	22268		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	371.1333		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	307701		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	344551		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	3460.973		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	25.5				Transporttijd:	22298		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	371.6333		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	247321		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	344551		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	3478.027		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	25.5				Transporttijd:	21987		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	366.45		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	130257		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	344551		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	3464.039		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	24				Transporttijd:	21895		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	364.9167		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	137862		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	162754		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1641.293		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	24				Transporttijd:	22369		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	372.8167		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	154561		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	162754		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1685.895		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	24				Transporttijd:	22686		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	378.1		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	153646		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	162754		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1680.793		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	23				Transporttijd:	22610		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	376.8333		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	25192		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	98715		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1006.297		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	23				Transporttijd:	21708		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	361.8		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	69243		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	98715		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	986.4375		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	23				Transporttijd:	23013		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	383.55		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	38709		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	98715		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	972.7266		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	23.5				Transporttijd:	22212		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	370.2		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	76094		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	126753		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1248.164		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	23.5				Transporttijd:	22864		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	381.0667		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	20123		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	126753		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1255.398		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	23.5				Transporttijd:	22595		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	376.5833		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	104070		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	126753		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1286.898		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	22				Transporttijd:	22149		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	369.15		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	28257		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	59874		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	593.6953		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	22				Transporttijd:	22569		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	376.15		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	11208		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	59874		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	609.25		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	22				Transporttijd:	22596		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	376.6		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	30539		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	59874		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	601.9883		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1				Transporttijd:	23270		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	387.8333		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	11320		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	22026		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	230.5742		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1				Transporttijd:	22990		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	383.1667		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	4487		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	22026		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	226.9922		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1				Transporttijd:	23186		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	386.4333		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	5061		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	22026		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	220.5938		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1.25				Transporttijd:	22795		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	379.9167		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	153474		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	268337		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2656.398		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1.25				Transporttijd:	22972		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	382.8667		
4	Cooling Parameter:	logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	72237		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	268337		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2614.674		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1.25				Transporttijd:	22769		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	379.4833		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	89549		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	268337		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2644.457		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1.3				Transporttijd:	23051		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	384.1833		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	138734		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	442413		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4484.305		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1.3				Transporttijd:	22795		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	379.9167		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	215994		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	442413		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4321.355		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1.3				Transporttijd:	22520		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	375.3333		
4	Cooling Parameter:	logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	433978		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	442413		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4442.083		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1.2				Transporttijd:	22795		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	379.9167		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	153468		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	162754		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1650.648		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1.2				Transporttijd:	22863		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	381.05		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	161711		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	162754		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1690.926		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1.2				Transporttijd:	22769		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	379.4833		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	89549		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	162754		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	1677.652		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1.1				Transporttijd:	23252		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	387.5333		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	43460		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	59874		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	628.3672		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1.1				Transporttijd:	22990		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	383.1667		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	4487		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	59874		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	613.543		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	1.1				Transporttijd:	23055		
3	Eind Temperatuur:	0.1				Uitkomst:	384.25		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	19441		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	59874		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	624.6328		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	26.75				Transporttijd:	21955		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	365.9167		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	456793		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	643707		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	6482.961		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	26.75				Transporttijd:	22061		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	367.6833		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	437110		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	643707		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	6427.441		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	26.75				Transporttijd:	22086		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	368.1		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	533749		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	643707		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	6524.953		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	26				Transporttijd:	22103		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	368.3833		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	158601		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	442413		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4623.012		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	26				Transporttijd:	22163		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	369.3833		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	318626		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	442413		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4341.096		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	26				Transporttijd:	22547		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	375.7833		
4	Cooling Parameter:	Logaritisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	312903		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	442413		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	4564.934		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	25				Transporttijd:	22247		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	370.7833		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	197240		
5	Seed Value:	1				Totaal aantal iteraties:	268337		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2667.68		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	25				Transporttijd:	22599		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	376.65		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	250623		
5	Seed Value:	2				Totaal aantal iteraties:	268337		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2683.043		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Input:					Output:			
2	Start Temperatuur:	25				Transporttijd:	21982		
3	Eind Temperatuur:	2				Uitkomst:	366.3667		
4	Cooling Parameter:	Logaritmisch				Iteratie waar oplossing in is gevonden:	134679		
5	Seed Value:	3				Totaal aantal iteraties:	268337		
6	Aantal haltes:	25				Rekentijd:	2651.398		
7	Handelingstijd:	120							
8	Capaciteit:	2							
9	Constante factor								

D. Bijlage D: resultaten experimenten overzichtelijk weergegeven in tabelvorm

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Experiment	Startwaarde Cooling	Eindwaarde Cooling parameter	Cooling schedule	Constante Waarde	Resultaat	Rekentijd	Capacity	Bin:
2	1	1	0.001	0.9999	0.000000001	22637	661	2	0-1000
3	2	1	0.001	0.9999	0.000000001	22779	671	2	0-1000
4	3	1	0.001	0.9999	0.000000001	22991	708	2	0-1000
5	4	1	0.01	0.99999	0.000000001	21151	4582	2	4001-5000
6	5	1	0.01	0.99999	0.000000001	21945	4522	2	4001-5000
7	6	1	0.01	0.99999	0.000000001	21578	4590	2	4001-5000
8	7	10	0.0001	0.9999	0.000000001	22000	1133	2	1001-2000
9	8	10	0.0001	0.9999	0.000000001	21989	1120	2	1001-2000
10	9	10	0.0001	0.9999	0.000000001	21304	1149	2	1001-2000
11	10	100	0.1	0.9999	0.000000001	23654	703	2	0-1000
12	11	100	0.1	0.9999	0.000000001	22461	684	2	0-1000
13	12	100	0.1	0.9999	0.000000001	21583	695	2	0-1000
14	13	100	0.1	0.99999	0.000000001	21333	6936	2	6001-7000
15	14	100	0.1	0.99999	0.000000001	21118	6884	2	6001-7000
16	15	100	0.1	0.99999	0.000000001	21200	6787	2	6001-7000
17	16	10	0.0001	0.99996	0.000000001	21612	2893	2	2001-3000
18	17	10	0.0001	0.99996	0.000000001	21509	3007	2	3001-4000
19	18	10	0.0001	0.99996	0.000000001	20928	2914	2	2001-3000
20	19	10	0.0001	0.99998	0.000000001	21697	5998	2	5001-6000
21	20	10	0.0001	0.99998	0.000000001	21426	5628	2	5001-6000
22	21	10	0.0001	0.99998	0.000000001	21160	5730	2	5001-6000
23	22	10	0.0001	0.999975	0.000000001	21402	4755	2	4001-5000
24	23	10	0.0001	0.999975	0.000000001	21531	4434	2	4001-5000
25	24	10	0.0001	0.999975	0.000000001	21652	4539	2	4001-5000
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
26	25	10	0.0001	0.999978	0.000000001	21663	5296	2	5001-6000
27	26	10	0.0001	0.999978	0.000000001	21759	5185	2	5001-6000
28	27	10	0.0001	0.999978	0.000000001	21689	5390	2	5001-6000
29	28	10	0.0001	0.999965	0.000000001	21625	3412	2	3001-4000
30	29	10	0.0001	0.999965	0.000000001	22374	3406	2	3001-4000
31	30	10	0.0001	0.999965	0.000000001	22106	3311	2	3001-4000
32	31	100	0.001	0.999961	0.000000001	21688	2920	2	2001-3000
33	32	100	0.001	0.999961	0.000000001	21614	2948	2	2001-3000
34	33	100	0.001	0.999961	0.000000001	21340	2958	2	2001-3000
35	34	100	0.001	0.9999	0.000000001	23643	1115	2	1001-2000
36	35	100	0.001	0.9999	0.000000001	22442	1170	2	1001-2000
37	36	100	0.001	0.9999	0.000000001	21532	1164	2	1001-2000
38	37	100	0.001	0.999965	0.000000001	21958	3234	2	3001-4000
39	38	100	0.001	0.999965	0.000000001	22221	3222	2	3001-4000
40	39	100	0.001	0.999965	0.000000001	21664	3210	2	3001-4000
41	40	100	0.001	0.999975	0.000000001	21918	4424	2	4001-5000
42	41	100	0.001	0.999975	0.000000001	21043	4621	2	4001-5000
43	42	100	0.001	0.999975	0.000000001	22351	4472	2	4001-5000
44	43	1000	0.01	0.95	0.000000001	24301	2.56	2	0-1000
45	44	1000	0.01	0.95	0.000000001	24833	2.64	2	0-1000
46	45	1000	0.01	0.95	0.000000001	24479	2.86	2	0-1000
47	46	1000	0.01	0.96	0.000000001	24518	3.4	2	0-1000
48	47	1000	0.01	0.96	0.000000001	24833	3.39	2	0-1000
49	48	1000	0.01	0.96	0.000000001	24359	3.42	2	0-1000
50	49	1000	0.01	0.97	0.000000001	24150	4.47	2	0-1000

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
51	50	1000	0.01	0.97	0.000000001	24399	4.74	2	0-1000
52	51	1000	0.01	0.97	0.000000001	24456	4.59	2	0-1000
53	52	1000	0.01	0.98	0.000000001	24877	6.73	2	0-1000
54	53	1000	0.01	0.98	0.000000001	24420	6.7	2	0-1000
55	54	1000	0.01	0.98	0.000000001	24601	6.82	2	0-1000
56	55	1000	0.01	0.99	0.000000001	24174	14.22	2	0-1000
57	56	1000	0.01	0.99	0.000000001	24024	13.54	2	0-1000
58	57	1000	0.01	0.99	0.000000001	23129	13.43	2	0-1000
59	58	1	0.1	Logaritmisch	0.000000001	23186	221	2	0-1000
60	59	1	0.1	Logaritmisch	0.000000001	22990	227	2	0-1000
61	60	1	0.1	Logaritmisch	0.000000001	23270	231	2	0-1000
62	61	1.1	0.1	Logaritmisch	0.000000001	23055	625	2	0-1000
63	62	1.1	0.1	Logaritmisch	0.000000001	22990	614	2	0-1000
64	63	1.1	0.1	Logaritmisch	0.000000001	23252	628	2	0-1000
65	64	1.2	0.1	Logaritmisch	0.000000001	22769	1678	2	1001-2000
66	65	1.2	0.1	Logaritmisch	0.000000001	22863	1691	2	1001-2000
67	66	1.2	0.1	Logaritmisch	0.000000001	22795	1651	2	1001-2000
68	67	1.25	0.1	Logaritmisch	0.000000001	22769	2644	2	2001-3000
69	68	1.25	0.1	Logaritmisch	0.000000001	22972	2615	2	2001-3000
70	69	1.25	0.1	Logaritmisch	0.000000001	22795	2656	2	2001-3000
71	70	1.3	0.1	Logaritmisch	0.000000001	22520	4442	2	4001-5000
72	71	1.3	0.1	Logaritmisch	0.000000001	22759	4321	2	4001-5000
73	72	1.3	0.1	Logaritmisch	0.000000001	23051	4484	2	4001-5000
74	73	22	2	Logaritmisch	0.000000001	22596	602	2	0-1000
75	74	22	2	Logaritmisch	0.000000001	22596	609	2	0-1000
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
76	75	22	2	Logaritmisch	0.000000001	22149	594	2	0-1000
77	76	23	2	Logaritmisch	0.000000001	23013	973	2	0-1000
78	77	23	2	Logaritmisch	0.000000001	21708	986	2	0-1000
79	78	23	2	Logaritmisch	0.000000001	22610	1006	2	1001-2000
80	79	23.5	2	Logaritmisch	0.000000001	22595	1287	2	1001-2000
81	80	23.5	2	Logaritmisch	0.000000001	22864	1255	2	1001-2000
82	81	23.5	2	Logaritmisch	0.000000001	22212	1248	2	1001-2000
83	82	24	2	Logaritmisch	0.000000001	22686	1681	2	1001-2000
84	83	24	2	Logaritmisch	0.000000001	22369	1686	2	1001-2000
85	84	24	2	Logaritmisch	0.000000001	21895	1641	2	1001-2000
86	85	25	2	Logaritmisch	0.000000001	22247	2668	2	2001-3000
87	86	25	2	Logaritmisch	0.000000001	22599	2683	2	2001-3000
88	87	25	2	Logaritmisch	0.000000001	21982	2651	2	2001-3000
89	88	25.5	2	Logaritmisch	0.000000001	21987	3464	2	3001-4000
90	89	25.5	2	Logaritmisch	0.000000001	22298	3478	2	3001-4000
91	90	25.5	2	Logaritmisch	0.000000001	22268	3461	2	3001-4000
92	91	26	2	Logaritmisch	0.000000001	22103	4623	2	4001-5000
93	92	26	2	Logaritmisch	0.000000001	22163	4341	2	4001-5000
94	93	26	2	Logaritmisch	0.000000001	22547	4565	2	4001-5000
95	94	26.5	2	Logaritmisch	0.000000001	21850	5813	2	5001-6000
96	95	26.5	2	Logaritmisch	0.000000001	22203	5712	2	5001-6000
97	96	26.5	2	Logaritmisch	0.000000001	22274	5644	2	5001-6000
98	97	26.75	2	Logaritmisch	0.000000001	21955	6482	2	6001-7000
99	98	26.75	2	Logaritmisch	0.000000001	22061	6427	2	6001-7000
100	99	26.75	2	Logaritmisch	0.000000001	22086	6525	2	6001-7000

E. Bijlage E: vraag tussen bushaltes

	A	B	C	D	E	F
1	Van\Naar	Magazijn voor	Magazijn achter	Spuiterij grote producten	Spuiterij kleine producten	Badenlijn Centraal
2	Magazijn voor	-	-	-	1	1
3	Magazijn achter	-	-	-	-	-
4	Spuiterij grote producten	-	-	-	-	-
5	Spuiterij kleine producten	-	-	-	-	1
6	Badenlijn Centraal	-	-	4	-	-
7	Badenlijn Spuiterij	-	-	-	-	-
8	Machining p12	-	-	-	-	-
9	Machining P20	-	-	-	-	-
10	Machining P21	-	-	-	-	-
11	Machining P35	-	-	1	-	-
12	Debagging	-	-	1	1	-
13	NDO	-	-	-	-	-
14	Handverspanning	-	-	-	-	-
15	JSF center	-	-	-	-	-
16	JSF Flap	-	-	-	-	-
17	JSF flapperon	-	-	-	-	-
18	Mallenbouw	-	-	-	-	-
19	Apache Samenbouw	-	-	-	-	-
20	A380/A400M/6550 Samenbouw	-	-	-	-	-
21	Apache subs, NH-90 Samenbouw, Agusta, Tigre Samenbouw	-	-	-	-	-
22	Shelters	-	-	-	-	-
23	Ariane aan	-	-	-	-	-
24	Ariane uit	-	-	-	-	-
25	PAC-3	-	-	-	-	-

	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Badenlijn Spuiterij	Machining p12	Machining P20	Machining P21	Machining P35	Debagging	NDO	Handverspanning	JSF center	JSF Flap	JSF Flapperon	Mallenbouw
2	-	-	-	-	-	-	-	-	1-	-	-	1
3	-	-	-	1-	-	1-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	1-	-	-	-
6	-	-	1-	-	1-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	S	T	U	V	W	X	Y
1	Apache Samenbouw	A380/A400M/G650 Samenbouw	Apache subs, NH-90 Samenbouw, Agusta , Tigre Samenbouw	Shelters	Ariane aan	Ariane uit	PAC-3
2	-	1	1	2	1	1	1
3	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	3	1	1	-	1
5	-	1	-	1	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	1
7	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	1	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-

F. Bijlage F: Afstand tussen haltes

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Van\Naar									
2	Magazijn voor									
3	Magazijn achter	55.00		55.00	120.00	196.00	104.00	135.00	85.00	90.00
4	Sputterij grote producten	120.00		135.00	135.00	190.00	45.00	75.00	110.00	105.00
5	Sputterij kleine producten	196.00			30.00	30.00	240.00	260.00	85.00	90.00
6	Badenlijjn Centraal	104.00		45.00	240.00	245.00	245.00	265.00	90.00	95.00
7	Badenlijjn Sputterij	135.00		75.00	260.00	265.00	30.00		95.00	90.00
8	Machining p12	85.00		110.00	85.00	90.00	65.00	95.00		5.00
9	Machining P20	90.00		105.00	90.00	95.00	60.00	90.00	5.00	
10	Machining P21	95.00		100.00	95.00	100.00	55.00	85.00	10.00	5.00
11	Machining P35	120.00		55.00	120.00	125.00	10.00	40.00	25.00	30.00
12	Debagging	180.00		125.00	200.00	238.00	140.00	140.00	325.00	298.00
13	NDO	175.00		120.00	195.00	233.00	135.00	135.00	320.00	293.00
14	Handerspanning	205.00		148.00	225.00	263.00	165.00	165.00	350.00	323.00
15	JSF center	312.00		240.00	312.00	338.00	240.00	240.00	425.00	393.00
16	JSF Flap	320.00		245.00	320.00	345.00	245.00	245.00	430.00	400.00
17	JSF flapperon	215.00		305.00	380.00	405.00	305.00	305.00	490.00	460.00
18	Mallenbouw	216.00		166.00	195.00	225.00	120.00	120.00	265.00	180.00
19	Apache Samenbouw	255.00		140.00	220.00	257.00	155.00	155.00	295.00	215.00
20	A380/A400M/G650 Samenbouw	290.00		225.00	300.00	323.00	240.00	240.00	405.00	373.00
21	Apache subs, NH-90 Samenbouw, Augusta , Tigre Samenbouw	62.00		96.00	70.00	75.00	116.00	136.00	30.00	35.00
22	Shelters	124.00		105.00	45.00	25.00	125.00	145.00	110.00	115.00
23	Ariane aan	80.00		105.00	60.00	50.00	125.00	145.00	40.00	45.00
24	Ariane uit	95.00		120.00	45.00	35.00	140.00	160.00	60.00	65.00
25	PAC-3	120.00		135.00	25.00	5.00	155.00	175.00	100.00	105.00

A	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Machining P35	Debaggig	NDO	Handverspanning	JSF center	JSF Flap	JSF Flapperon	Mallenbouw
2	120.00	180.00	175.00	205.00	312.00	320.00	215.00	216.00
3	55.00	125.00	120.00	148.00	240.00	245.00	305.00	166.00
4	120.00	200.00	195.00	225.00	312.00	320.00	380.00	195.00
5	125.00	238.00	233.00	263.00	338.00	345.00	405.00	225.00
6	10.00	140.00	135.00	165.00	240.00	245.00	305.00	120.00
7	40.00	140.00	135.00	165.00	240.00	245.00	305.00	120.00
8	25.00	325.00	320.00	350.00	425.00	430.00	490.00	265.00
9	30.00	298.00	293.00	323.00	393.00	400.00	460.00	180.00
10	30.00	296.00	291.00	321.00	391.00	398.00	458.00	172.00
11	150.00	150.00	145.00	175.00	250.00	255.00	315.00	130.00
12	150.00	5.00	5.00	35.00	110.00	115.00	175.00	60.00
13	145.00	5.00	5.00	30.00	105.00	110.00	170.00	65.00
14	175.00	35.00	30.00	75.00	5.00	80.00	140.00	95.00
15	250.00	110.00	105.00	80.00	5.00	60.00	120.00	155.00
16	255.00	115.00	110.00	80.00	5.00	60.00	120.00	155.00
17	315.00	175.00	170.00	140.00	65.00	155.00	180.00	200.00
18	130.00	60.00	65.00	95.00	160.00	120.00	180.00	200.00
19	165.00	90.00	85.00	55.00	125.00	140.00	180.00	200.00
20	250.00	140.00	135.00	105.00	145.00	180.00	120.00	235.00
21	126.00	295.00	290.00	260.00	185.00	150.00	90.00	205.00
22	135.00	265.00	260.00	230.00	155.00	190.00	145.00	280.00
23	135.00	305.00	300.00	270.00	195.00	205.00	110.00	225.00
24	150.00	320.00	315.00	285.00	210.00	170.00	110.00	225.00
25	165.00	285.00	280.00	250.00	175.00	170.00	110.00	225.00

	R	S	T	U	V	W	X	Y
1	Mallenhout	Apache Samenbouw	A380/A400M/6550 Samenbouw	Apache subs, NH-90 Samenbouw, Agusta , Tigre Samenbouw	Shelters	Ariane aan	Ariane uit	PAC-3
2	216.00	255.00	290.00	62.00	124.00	80.00	95.00	120.00
3	166.00	140.00	225.00	96.00	105.00	105.00	120.00	135.00
4	195.00	220.00	300.00	70.00	45.00	60.00	45.00	25.00
5	225.00	257.00	323.00	75.00	25.00	50.00	35.00	5.00
6	120.00	155.00	240.00	116.00	125.00	125.00	140.00	155.00
7	120.00	155.00	240.00	136.00	145.00	145.00	160.00	175.00
8	265.00	295.00	405.00	30.00	110.00	40.00	60.00	100.00
9	180.00	215.00	373.00	35.00	115.00	45.00	65.00	105.00
10	172.00	213.00	371.00	37.00	117.00	47.00	67.00	107.00
11	130.00	165.00	250.00	126.00	135.00	135.00	150.00	165.00
12	60.00	90.00	140.00	295.00	265.00	305.00	320.00	285.00
13	65.00	85.00	135.00	290.00	260.00	300.00	315.00	280.00
14	95.00	55.00	105.00	260.00	230.00	270.00	285.00	250.00
15	160.00	125.00	145.00	185.00	155.00	195.00	210.00	175.00
16	155.00	120.00	140.00	180.00	150.00	190.00	205.00	170.00
17	120.00	180.00	85.00	120.00	90.00	130.00	145.00	110.00
18		20.00	200.00	235.00	205.00	245.00	280.00	225.00
19	20.00		120.00	255.00	225.00	265.00	300.00	245.00
20	200.00	120.00		210.00	180.00	220.00	235.00	200.00
21	235.00	255.00	210.00		60.00	20.00	40.00	80.00
22	205.00	225.00	180.00	60.00		80.00	60.00	20.00
23	245.00	265.00	220.00	20.00	80.00		30.00	60.00
24	280.00	300.00	235.00	40.00	60.00	30.00		30.00
25	225.00	245.00	200.00	80.00	20.00	60.00	30.00	