

Supply Chain Analyse Twence B.V.

Bacheloropdracht Technische Bedrijfskunde
Universiteit Twente

Auteur:	Jurjen Nijkamp
Studentnummer:	S1013874
Begeleider Universiteit Twente:	Dr. ir. M.R.K. Mes
Externe begeleider Twence B.V.:	Dhr. A. Vos
Datum:	09-10-2017

UNIVERSITY OF TWENTE.

Publicatiedatum

Oktober 2017

Student

J. Nijkamp (Jurjen)

Student Technische bedrijfskunde

j.nijkamp@student.utwente.nl

Studentnummer:

s1013874

Begeleider Universiteit Twente

Dr. ir. M.R.K. Mes (Martijn)

Meelezer Universiteit Twente

Dr. ir. J.M.J. Schutten (Marco)

Begeleider Twence B.V.

A. Vos (Albert)

VOORWOORD

Voor u ligt het verslag “Supply Chain Analyse Twence B.V.”. Dit verslag is het resultaat van mijn bacheloropdracht bij Twence B.V. voor de bacheloropleiding Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Na het afronden van alle vakken, is gestart met de bacheloropdracht onder begeleiding van Dr. ir. M.R.K. Mes van de Universiteit Twente en A. Vos van Twence B.V.

Graag wil ik Martijn Mes bedanken voor zijn kritische feedback gedurende het lange traject dat ik heb afgelegd om tot dit eindproduct te komen. Daarnaast wil ik Albert Vos bedanken voor de begeleiding bij Twence B.V. en het faciliteren van de werkplek en mij de mogelijkheid gaf mijn bacheloropleiding daar af te ronden. Ook wil ik Marco Schutten bedanken voor het meelezen van het verslag.

Jurjen Nijkamp

Enschede, 9 oktober 2017

MANAGEMENT SAMENVATTING

Twence B.V. te Hengelo (Twence) heeft zich ontwikkeld van een vuilstort tot een producent van grondstoffen en energie uit afvalstromen en biomassa. Naast een stortplaats heeft Twence een afvalenergiecentrale (AEC), een bioconversie-installatie (BC), een biomassa-energiecentrale (BEC) en de Twence Afvalscheiding (TAS). Voor de kapitaalintensieve installaties van de AEC en de BEC wordt naar een zo hoog mogelijke bezettingsgraad gestreefd. Om schommelingen in de aanvoer van brandbaar afval en biomassa op te kunnen vangen heeft Twence naast de buffers in de productielijn, grondstoffen opgeslagen op het eigen terrein. Door verschillende oorzaken is de voorraad grondstoffen aanzienlijk groter geworden dan de gewenste strategische voorraad. Dit was de aanleiding voor Twence om een onderzoek te starten naar de inrichting van de supply chain. In dit onderzoek wordt antwoord gegeven op van de volgende vraag:

Waar zitten in de huidige supply chain van Twence de knelpunten en wat zijn hiervan de gevolgen?

De eerste stap van het onderzoek is een analyse van de supply chain van Twence. Wat de supply chain van Twence uniek maakt is dat klanten zich upstream en downstream in de supply chain bevinden. Afval wordt geleverd bij Twence tegen betaling en Twence levert energie in de vorm van elektriciteit en stoom aan klanten. De afdeling Marketing & Sales is daarom ook verantwoordelijk voor het upstream en downstream gedeelte van de supply chain. De verantwoordelijkheid voor de interne processen ligt bij de afdeling Operations. De grootste goederenstroom wordt veroorzaakt door de AEC, met een doorzet van ongeveer 600 kton brandbaar afval per jaar. In het ideale geval wordt het brandbaar afval door de leveranciers in de buffer van de AEC gestort. Echter, dit is soms niet mogelijk doordat de geleverde hoeveelheid afval afwijkt van de geplande hoeveelheid of omdat er meer gecontracteerd is dan verwerkt kan worden door de AEC. Afwijking van de geplande hoeveelheid brandbaar afval kan ontstaan doordat leveranciers 10% meer of minder mogen leveren dan de gecontracteerde hoeveelheid. In de praktijk zitten leveranciers vaak tegen de bovengrens aan van deze 10%.

Op het terrein van Twence ligt tevens een voorraad van 40 kton biomassa voor de BEC. Dit is biomassa die door Twence zelf op specificatie is gebracht. Biomassa dat op specificatie wordt geleverd wordt direct in de buffer van de BEC opgeslagen. Deze voorraad bestaat om fluctuaties op te vangen maar ook omdat, volgens de cijfers van Twence, het zelf op specificatie brengen van biomassa goedkoper is dan biomassa op specificatie laten leveren. Uit een nacalculatie aan de hand van de geboekte kosten bleek dit niet altijd het geval te zijn. In 2013 en 2014 was het respectievelijk 0,117 p_{hout} per ton en 0,031 p_{hout} per ton goedkoper om biomassa zelf op specificatie te brengen. Echter, in 2015 was het 0,126 p_{hout} per ton duurder om biomassa zelf op specificatie te brengen. Met een productie van 50 kton brengt dit ruim 6294 p_{hout} aan extra kosten met zich mee. Daarnaast beïnvloedt regen de marge ook nog negatief. Zelf op specificatie gebracht hout ligt niet overdekt opgeslagen en wordt dus nat. Wanneer het vochtpercentage met 10% stijgt, daalt de opbrengst bij verbranden met 0,108 p_{hout} per ton.

Daarnaast ligt op het terrein van Twence ongeveer 100 kton brandbaar afval tijdelijk opgeslagen. Wanneer het gestort wordt, moet het binnen drie jaar verbrand worden. Deze voorraad is ontstaan in 2011 toen, vanwege een wetswijziging, het afgegraven gestorte afval verbranden rendabeler was dan het verbranden van regulier brandbaar afval. De in 2011 ontstane voorraad is tot en met 2015 nog niet afgebouwd. Doordat deze voorraad maximaal drie jaar oud mag zijn moet jaarlijks een gedeelte van de voorraad ververs worden. Omdat Twence vast zit aan contracten is het niet mogelijk om de voorraad drastisch af te bouwen. Gevolg hiervan is dat 'vers' afval tijdelijk opgeslagen moet worden omdat de

voorraad ververst moet worden. De kosten voor het in opslag brengen en terughalen van brandbaar afval zijn door een medewerker van Twence berekend in 2013 door middel van een schatting en in de daaropvolgende jaren niet meer geüpdatet. Om dit cijfer te controleren zijn de kosten voor het omleiden van afval op twee manieren berekend: eerst door middel van alle geboekte kosten en daarna door de kosten van het benodigde materieel te bepalen en te vermenigvuldigen met het aantal dagen dat afval is omgeleid. De nacalculatie bleek onnauwkeurig omdat de geboekte kosten niet goed te herleiden waren. De tweede methode gaf wel een nauwkeurige indicatie van p_{overflow} per ton. Dit viel 3,65% lager uit dan de rekenwaarde van p_{omleiden} per ton. Met de waarde van p_{overflow} per ton zijn de directe kosten voor het omleiden van brandbaar afval berekend. In 2015 waren deze kosten bijna 37850 p_{overflow} waarvan ongeveer 26495 p_{overflow} alleen door het verplicht verversen van de voorraad.

De grote hoeveelheid opgeslagen afval biedt ook voordelen. Met deze voorraad kan de variatie in de geleverde hoeveelheid afval opgevangen worden. In 2015 week de geleverde hoeveelheid brandbaar afval af van de geplande hoeveelheid met een normale verdeling met de volgende parameters: $\sigma = 596,34$, $\mu = 26,599$. Deze verdeling wordt gebruikt in een simulatie om de invloed van de externe opslag (TOP), de variantie en het gemiddelde van de normale verdeling te testen op de totale kosten.

Op jaarlijkse basis blijft de hoeveelheid brandbaar afval in TOP ongeveer constant. Echter, op dagelijkse basis zijn er veel fluctuaties. Daarom is gesimuleerd wat de invloed is van een lagere variantie van de geleverde hoeveelheid, een verandering van μ en de capaciteit van TOP op de totale kosten. Daarnaast is gesimuleerd wat de gevolgen zijn wanneer de afwijking van de geplande hoeveelheid op dagelijkse basis maximaal 10% mag zijn. Omdat een voorraad op TOP onwenselijk is, wordt aan het eind van de looptijd TOP geleegd en het brandbaar afval afgevoerd naar een externe afvalverwerker.

Wat de grootste invloed heeft op de totale kosten is het naleven van de leveranciersrestrictie van 10% op dagelijkse basis. Met leveranciersrestrictie zijn de kosten gemiddeld 90% lager dan zonder deze restrictie, wat nu het geval is bij Twence. In het ideale geval wordt er gemiddeld 10 ton per dag meer geleverd dan gepland, is er een TOP capaciteit van 2000 ton en heeft de variantie niet veel invloed. De variatie wordt al beperkt door de leveranciersrestrictie.

Zonder leveranciersrestrictie zijn de laagste kosten gevonden bij een normaal verdeelde afwijking van de geplande hoeveelheid met een μ van 27 ton en een standaarddeviatie van $0,25\sigma$ (de laagst geteste waarde) en een TOP capaciteit van 6000 ton.

Volgens beide scenario's kan de capaciteit van TOP aanzienlijk verlaagd worden. Daarnaast is een lagere variantie van de geleverde hoeveelheid wenselijk maar blijft de geleverde hoeveelheid hoger dan de geplande hoeveelheid.

De grootste knelpunten in de supply chain van Twence zijn nu de grote voorraden op het terrein, deze brengen hoge kosten met zich mee en zijn niet noodzakelijk voor het verbranden van afval of biomassa. Wanneer ook de variantie van de geleverde hoeveelheid teruggedrongen wordt zal dit een aanzienlijke kostenbesparing opleveren. Om de gevolgen hiervan beter in kaart te brengen zou een gedetailleerde simulatie uitkomst kunnen bieden.

INHOUD

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding	3
1.2	Probleemidentificatie	5
1.3	Kernprobleem	6
1.4	Doel van het onderzoek	8
1.5	Onderzoeksvragen	8
1.6	Scope van het onderzoek	9
2	Procesanalyse	10
2.1	Interne verbanden	10
2.2	Logistieke keten	12
2.3	Afvalenergie Centrale	15
2.4	Biomassa-energie Centrale	15
2.5	Bodemassen	16
2.6	Planning	16
2.7	Conclusie	18
3	Data-analyse Brandbaar Aval	20
3.1	Massastromen	20
3.2	Kosten	21
3.3	Variatie op dagelijkse basis	24
3.4	Conclusie data-analyse brandbaar afval	26
4	Data-analyse Hout	28
4.1	Hout op specificatie brengen	28
4.2	Conclusie data-analyse hout	31
5	Simulatie	32
5.1	Input van het model	33
5.2	Output	35
5.3	Scenario's en de analyses	38
5.4	Spreading in de variantie	43
5.5	Conclusie simulatie	45
6	Conclusies en Aanbevelingen	46
7	Bibliografie	48
	Appendices	49

Appendix A – Afkortingen	49
Appendix B – Interne Logistiek	50
Appendix C – Cijfers brandbaar afval	51

1 INLEIDING

Twence B.V. te Hengelo, hierna Twence genoemd, heeft zich ontwikkeld van vuilstort tot een producent van grondstoffen en energie uit afvalstromen en biomassa. Twence heeft naast een stortplaats onder andere een afvalenergiecentrale (AEC), een bioconversie-installatie (BC), een biomassa-energiecentrale (BEC) en de Twentse Afval Scheiding (TAS). Door deze verscheidenheid aan installaties kan Twence veel verschillende afvalstromen verwerken op hetzelfde terrein. Doordat de AEC van Twence voldoet aan de hoogste Europese efficiëntie status, R1, kan er afval uit heel Europa verwerkt worden. Het grootste gedeelte van het buitenlandse afval dat Twence verwerkt komt uit Engeland en een klein gedeelte uit Duitsland.

Twence heeft een personeelsbezetting van ongeveer 220 fte's en een omzet van ruim €100 miljoen met een nettoresultaat van ongeveer €9 miljoen. Dit maakt Twence een belangrijke werkgever in de regio Twente (Twence B.V., 2015). Ook levert Twence sinds 2011 elektriciteit aan het openbare net, warmte voor de stadsverwarming van Enschede Zuid, stoom aan AkzoNobel, herbruikbare grondstoffen en deelstromen, waaronder metalen, bodemassen en FORZ, voor onder meer wegenbouw en compost (Twence B.V., 2015).

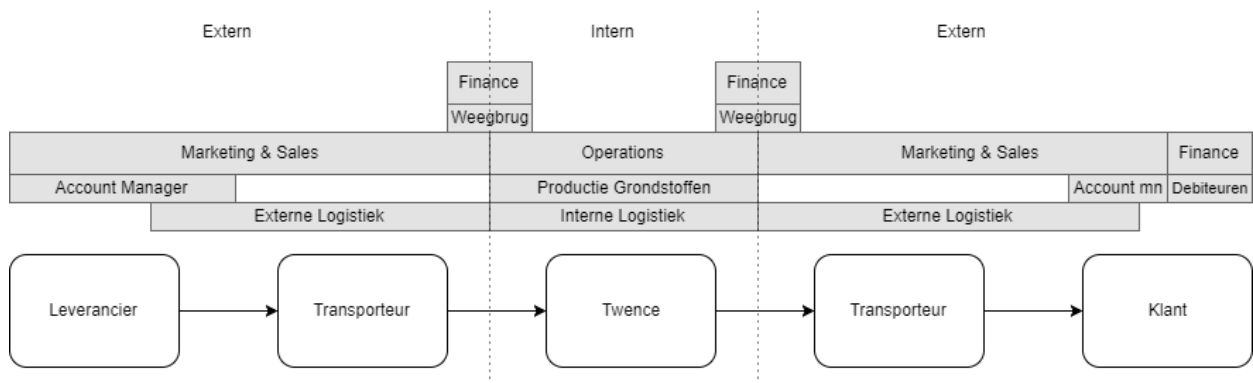
De visie van Twence is als volgt: *“Het is onze overtuiging dat, om uitputting van natuurlijke grondstoffen te voorkomen, overgegaan zal worden op volledig hergebruik. Energie zal in de toekomst volledig worden opgewekt uit hernieuwbare bronnen”*. Door de R1 status van de AEC heeft de rijksoverheid de installaties aangemerkt als ‘nuttige toepassing’ van afval en niet als ‘verwijdering’ van afval. In 2014 is er 949 kton afval aangeleverd en daarmee 411 GWh elektriciteit opgewekt en 645 GWh aan warmte en stoom geleverd (Twence B.V., 2015).

1.1 AANLEIDING

Eén van de krachten van Twence is ook één van de, op het eerste gezicht, grootste valkuilen. Twence heeft de faciliteiten om veel verschillende soorten grondstoffen te verwerken en daarnaast een terrein van 60 hectare waar veel materiaal opgeslagen kan worden. Hierdoor is het mogelijk flexibeler te zijn naar de leveranciers maar veroorzaakt dit ook een complexe interne logistiek. De eerste indruk is dat de (interne en externe) supply chain van Twence efficiënter kan worden ingericht. In dit onderzoek wordt de supply chain van Twence in kaart gebracht met eventuele bottlenecks om hiervoor potentiële oplossingen te geven.

Twence heeft zich de laatste 15 jaar ontwikkeld van afvalverwerker tot grondstoffen- en energieproducent. Twence is nu leverancier van elektriciteit, stoom en warmte. Om de kapitaalintensieve installaties van Twence rendabel te houden moeten deze altijd op volledige capaciteit werken. Om te zorgen dat schommelingen in de aanvoer van grondstoffen opgevangen kunnen worden, maakt Twence gebruik van zowel een buffer in de productielijn als ook van extra opslag op het terrein. In de loop der jaren is deze voorraad aanzienlijk groter geworden dan de gewenste strategische voorraad. Dit verzekert maximale bezetting van de installaties. In dit onderzoek wordt de supply chain beschreven zoals in Figuur 1-1. Volgens Natarajan & Goyal (1994) leidt een overschot van het aanbod tot een voorraad. In een omgeving waar alles Just in Time (JIT) geregeld is, zijn voorraden in het ideale geval niet nodig. Echter, blijkt dit volgens de literatuur in de praktijk anders. Er wordt zelfs aangegeven dat de vraag- en aanbodkant de twee grootste onzekerheden kunnen zijn waarmee moet worden

omgegaan. Modellen gaan om met deze onzekerheden door een verdeling te maken voor de lead time en voor de vraag (Natarajan & Goyal, 1994).



FIGUUR 1-1 VEREENVOUDIGDE WEERGAVE VAN DE SUPPLY CHAIN

Naast grote hoeveelheden grondstoffen liggen er ook een grote hoeveelheden bodemassen op het terrein. Bodemas is het restproduct na verbranding van biomassa en brandbaar afval. Nadat bodemassen uit de verbrandingsovens komen, worden deze direct bewerkt in de Slakken Opwerk Installatie (SOI). Na deze bewerking vallen bodemassen in de categorie van IBC-bouwstoffen. Dit zijn bouwstoffen die alleen mogen worden toegepast met isolatie-, beheers- en controle- (IBC) maatregelen (Rijkswaterstaat, 2016). Bodemassen moeten zes weken worden opgeslagen voordat deze gekeurd mogen worden. Des te langer bodemassen liggen des te meer ze gaan 'verkitten'. Dat wil zeggen dat de bodemassen hard worden waardoor deze eerst gebroken moeten worden voordat ze afgevoerd mogen worden.

De versimpelde weergave van de supply chain met de belangrijkste betrokken onderdelen op elk punt, is te zien in Figuur 1-1. Hierin zijn afdelingen meegenomen die noodzakelijk zijn voor de primaire processen binnen Twence. De primaire processen zijn het verwerken van biomassa en afvalstoffen tot energie, grondstoffen en herbruikbare materialen. Marketing & Sales (M&S) is verantwoordelijk voor het afsluiten van contracten met leveranciers voor en met afnemers van Twence. Met als gevolg dat de afdeling M&S zich upstream en downstream in de supply chain bevindt. Leveranciers en afnemers kunnen beiden klanten zijn van Twence. Wanneer Twence afval afneemt van bijvoorbeeld Twente Milieu is Twente Milieu een klant en moet betaald worden voor de dienst die Twence levert. AkzoNobel is een afnemer van stoom en betaalt Twence voor deze dienst.

In februari 2016 is een werkgroep gestart binnen Twence met als opdracht: de huidige supply chain onder de loep te nemen om vervolgens met een voorstel te komen voor het inrichten van de toekomstige supply chain organisatie, processen en bezetting. Dit, om uiteindelijk tot een efficiënte en kosten effectieve supply chain te komen, dat weer leidt tot een soepel proces van input tot en met output, heldere besluitvorming, effectieve planning, optimale voorraad beheersing en de juiste, tijdige en kwalitatief gewenste levering aan de klant.

Dit onderzoek vormt de basis voor deze werkgroep door de bestaande onderbuikgevoelens en vermoedens te onderzoeken en te onderbouwen met cijfers. Een solide analyse van bedrijfsprocessen en data kunnen aanknopingspunten bieden voor de werkgroep om verder mee te gaan.

1.2 PROBLEEMIDENTIFICATIE

De opdracht voor dit onderzoek is gegeven door de directie van Twence. Door middel van interviews en gesprekken met de directie, de werkgroep en managers van verschillende afdelingen zijn een aantal problemen aan het licht gekomen. De probleemkluwen in Figuur 1-2 is gebruikt om de onderlinge verbanden aan te geven en kernproblemen te kunnen herleiden. Zoals in de aanleiding is beschreven, bestaat het vermoeden dat de supply chain niet efficiënt is ingericht waardoor de operationele kosten te hoog zijn. Deze hoge kosten worden veroorzaakt door de grote hoeveelheid aan grondstoffen op het terrein van Twence. De totale grondstoffen bestaan uit totaal ruim 60 kton aan biomassa, ruim 100 kton aan brandbaar afval en ruim 150 kton aan Bodemassen.

Oorzaak van de hoge kosten is dat de grondstoffen niet op de ideale plek op het terrein kunnen liggen. Een voorbeeld is dat de biomassa niet op de houtbank opgeslagen kan worden. Daardoor moeten de grondstoffen op het terrein verder getransporteerd worden. Door de langere afstanden die gereden moeten worden, daalt de capaciteit per uur van een combinatie. Op de houtbank was normaliter een shovel voldoende om het hout te verplaatsen. Door de langere afstanden is er ook een kiepwagen nodig om het hout op de goede plek te krijgen.

De grote hoeveelheid grondstoffen op het terrein heeft drie hoofdoorzaken. De grote hoeveelheid bodemassen op het terrein van Twence is te verklaren doordat de productie van bodemassen groter is dan de afvoer van bodemassen. Bodemassen blijven over na de verbranding van brandbaar afval. Echter zijn er op het moment geen geschikte afnemers voor bodemassen. De tweede oorzaak van de grote hoeveelheid grondstoffen op het terrein is afvalmining. In 2011 is een grote hoeveelheid eerder gestort afval afgegraven om te verbranden. Aangezien de contracten voor dat jaar al afgesloten waren en niet voldoende bijgesteld konden worden was er een groter overschot aan brandbaar afval. Dit overschot is tijdelijk opgeslagen op het terrein van Twence. De derde oorzaak is dat de aanvoer van brandbaar afval en hout structureel groter zijn dan de hoeveelheid die verwerkt kan worden. Dit begint in de planning van de capaciteit. De afdeling Operations maakt voor elk kalenderjaar een schatting van de capaciteit van de verbrandingsovens. De capaciteit is echter nooit helemaal duidelijk op de lange termijn. Ongepland onderhoud of de kwaliteit van het afval kunnen invloed hebben op de capaciteit en dat is lastig te voorspellen.

Wanneer de capaciteit van de verbrandingsovens anders uitpakt dan gepland, is een goede afstemming tussen Operations en M&S cruciaal. Operations moet de veranderende capaciteit snel terugkoppelen naar M&S, aangezien Operations geen invloed heeft op de levering van grondstoffen. Dan kan M&S nog sturen in de geleverde hoeveelheden. Wanneer deze afstemming niet optimaal verloopt kan dit leiden tot een overschot.

Leveranciers hebben de mogelijkheid om 10% meer of minder dan de hoeveelheid te leveren die gecontracteerd is. In de praktijk zitten de meeste leveranciers tegen de bovengrens aan. Dus de verschillende leveranciers middelen elkaar niet uit.

Als M&S begint met de contractonderhandelingen zetten ze in op meer dan 100% van de capaciteit, er van uitgaande dat niet alle contractonderhandelingen succesvol zijn en er uiteindelijk 100% overblijft. 100% van de capaciteit is de ondergrens waar M&S op mikt. In de praktijk blijkt dat er een paar procent te veel gecontracteerd wordt. De prikkel voor M&S om exact 100% te contracteren of minder dan 100%

van de capaciteit, is kleiner dan de prikkel om meer dan 100% af te speken. Dit heeft verschillende oorzaken.

De eerste oorzaak is dat M&S en Operations verschillende Key Performance Indicators (KPI's) hebben. De belangrijkste KPI voor M&S is zorgen dat de volledige capaciteit van de verbrandingsovens gecontracteerd wordt: een tekort is minder wenselijk dan een overschot van grondstoffen. Belangrijke KPI's voor Operations zijn een zo hoog mogelijke doorzet van de verbrandingsinstallaties en zo laag mogelijke operationele kosten. Echter het overschot aan grondstoffen zorgt voor een grote kostenpost bij de operationele kosten.

Daarnaast is het onduidelijk wat de ideale buffer is, wat de optimale te contracteren hoeveelheid is of hoe groot de Tijdelijke Opslag Plek (TOP) moet zijn. Dit wordt veroorzaakt doordat de operationele kosten niet exact bekend zijn voor alle onderdelen. Hierdoor is het niet mogelijk om goede sturingsafspraken te maken.

1.3 KERNPROBLEEM

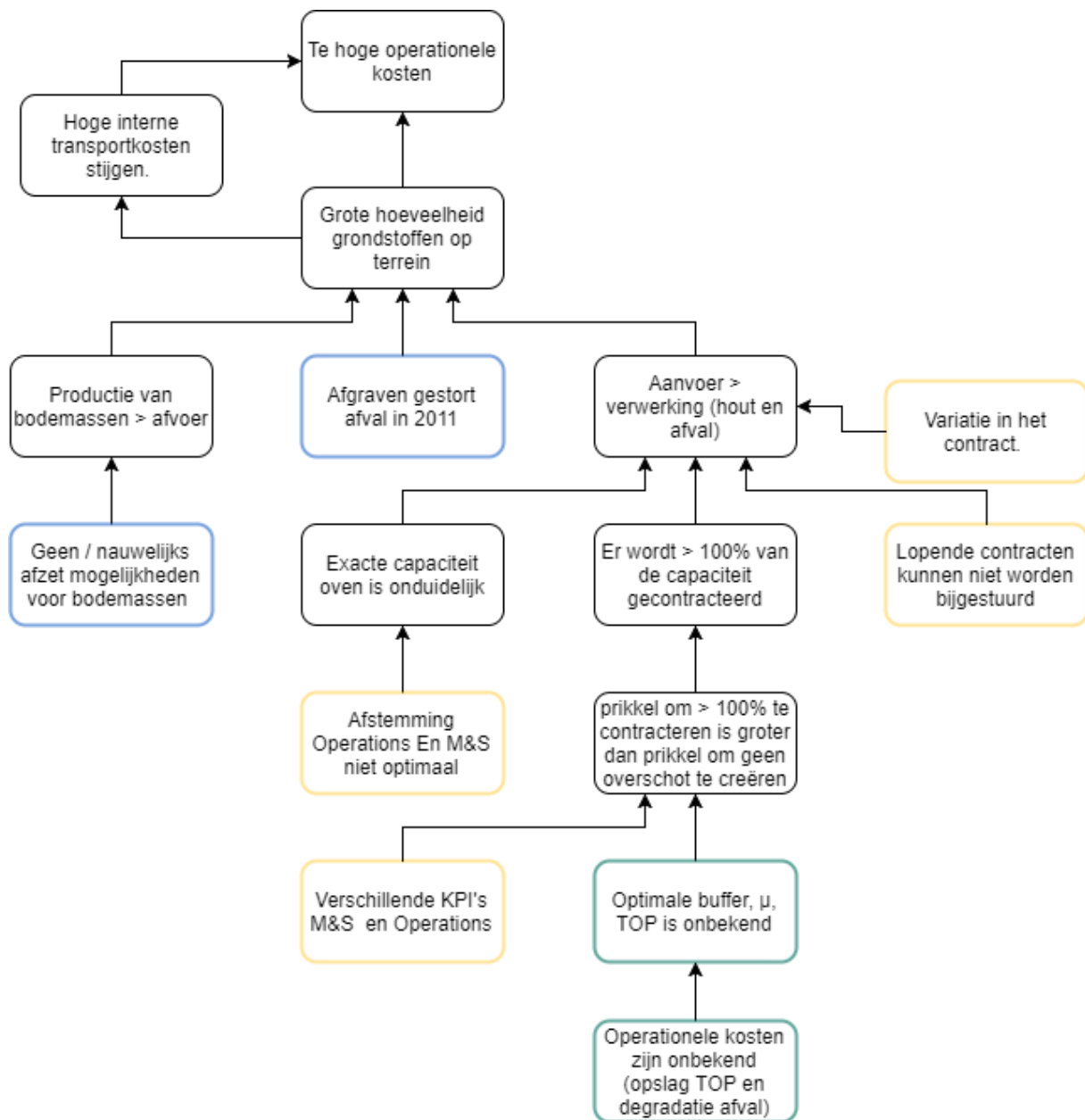
De blokken aan het begin van de flow, te zien in de probleemkluwen van Figuur 1-2, worden beschouwd als kernproblemen en leiden uiteindelijk tot het hoofdprobleem: te hoge operationele kosten. In de probleemkluwen zijn zeven verschillende kernproblemen geïdentificeerd. De zeven kernproblemen kunnen worden opgedeeld in drie groepen: kernproblemen waar geen invloed uit te oefenen is (met blauw aangeduid), kernproblemen die vanuit het beleid komen (met geel aangeduid) en kernproblemen die ontstaan doordat er niet voldoende kennis is (met groen aangeduid). De kernproblemen waar geen invloed op uit te oefenen is zijn niet meegenomen in dit onderzoek.

Dat er momenteel geen of nauwelijks afzetmogelijkheden zijn voor bodemassen, ligt buiten de invloed van Twence. Door veranderende wetgeving wil bijna geen enkel project nog gebruik maken van bodemassen als bouwstof. Twence is aan het onderzoeken of bodemassen te gebruiken zijn als bouwstof op het eigen terrein, maar afzet op de markt is bijna niet mogelijk. Door de veranderde wetgeving zijn potentiële afnemers terughoudend terwijl bodemassen blijven ontstaan als restproduct van de verbranding van biomassa en afval. Daarnaast is het afgegraven afval uit 2011 niet meer terug te storten. De keuze om afval af te graven is gemaakt in 2011 en daar kan nu niets meer aan gedaan worden.

Een aantal van de kernproblemen hebben te maken met de organisatie van Twence zelf. Operations maakt de capaciteitsplanning, M&S probeert deze te vullen door (lange termijn) contracten af te sluiten waarna Operations weer verantwoordelijk is voor dagelijkse gang van zaken en op dagelijks niveau contact heeft met leveranciers. Wanneer er dan wat veranderd in de planning en capaciteit, moet dit goed gecommuniceerd worden tussen de samenwerkende afdelingen. Wanneer dit niet optimaal gebeurt kan dit ten koste gaan van de bedrijfsvoering. Ook zijn de KPI's voor Operations en M&S verschillend en deze hebben soms een negatieve invloed op elkaar. Daarnaast wordt er momenteel geen ruimte in de contracten ingebouwd om geleverde hoeveelheden bij te kunnen sturen en is het voor de leverancier mogelijk om variantie in de levering te hebben.

Het kernprobleem dat overblijft is het feit dat de operationele kosten onbekend zijn. Dit is een kennisprobleem te noemen. Momenteel is het niet exact duidelijk wat de kosten zijn voor het opslaan van hout en afval op de TOP. Er is een rekenwaarde, maar dit getal is gebaseerd op een berekening van een aantal jaar geleden en de herkomst is onduidelijk. Afval en hout wat op TOP ligt opgeslagen wordt

blootgesteld aan de elementen. Door regen wordt het zwaarder en daalt de calorische waarde per ton en daarnaast degradeert hout waardoor de calorische waarde nog verder daalt. Doordat deze kosten niet exact duidelijk zijn is het niet duidelijk wat de ideale buffergrootte is, op welke (over)capaciteit gestuurd moet worden en welke invloed de variantie in de levering heeft op de buffer.



FIGUUR 1-2 PROBLEEMKLUWEN

1.4 DOEL VAN HET ONDERZOEK

Het doel van het onderzoek is om inzicht te krijgen in de mogelijke knelpunten in de supply chain van Twence. Dit vereist een proces- en data-analyse van de huidige situatie, waarbij de nadruk uiteindelijk komt te liggen op het verwerken van deze data in een simulatie, welke te vinden is in Hoofdstuk 5. In deze simulatie wordt berekend wat de optimale buffer, μ en TOP zijn.

1.5 ONDERZOEKSVRAGEN

Alle takken uit de probleemkluwen leiden tot één hoofdprobleem: te hoge operationele kosten door een inefficiënt ingerichte supply chain. Om dit probleem op te lossen is de volgende hoofdonderzoeksvraag opgesteld:

Waar zitten in de huidige supply chain van Twence de knelpunten en wat zijn hiervan de gevolgen?

Om de hoofdvraag goed te kunnen beantwoorden zijn er zes deelvragen opgesteld. De deelvragen zijn opgedeeld in drie categorieën, allereerst de procesanalyse, daaropvolgend de data-analyse en tot slot de verbetervoorstellen.

Procesanalyse

1. *Hoe is de huidige interne en externe supply chain van Twence ingericht?*

Hieronder valt onder andere de planning en de besluitvorming.

In Hoofdstuk 2 wordt de eerste deelvraag van dit onderzoek beantwoord. De procesanalyse is nodig om de huidige situatie in kaart te brengen, waarbij de interne verbanden en de logistieke keten onderzocht worden. Er wordt gekeken naar de planning en waar de verschillende verantwoordelijkheden liggen en welke gevolgen dat heeft op de besluitvorming. Om de stromen in kaart te kunnen brengen, zijn er gesprekken gevoerd met werknemers maar is er ook gekeken naar massabalansen. De massabalansen geven een overzicht wat er binnen Twence in en uit een installatie gaat.

Data-analyse

2. *Wat zijn de karakteristieken van de verschillende interne stromen van goederen van Twence?*
3. *Welke kosten zijn er verbonden aan de huidige interne stromen van Twence?*
4. *Wat zijn de gevolgen op de kwaliteit van hout en brandbaar afval bij de opslag op TOP?*

In Hoofdstuk 3 en Hoofdstuk 4 vindt de data-analyse plaats. Dit zijn de belangrijkste hoofdstukken van dit verslag, waarin deelvraag 2, 3 en 4 beantwoord worden. De data-analyse ligt aan de basis van dit verslag en aan het werk wat gedaan zal worden door de werkgroep binnen Twence.

Verbetervoorstellen

5. *Wat zijn de effecten van verschillende variabelen op de supply chain van Twence?*
6. *Welke mogelijkheden zijn er om leveranciers aan te sturen zodat de hoeveelheid grondstoffen en de timing daarvan aansluiten bij de wensen van Twence?*

Alle data wordt verwerkt in een simulatiemodel, om de effecten van verschillende variabelen te analyseren en te evalueren. Op deze manier wordt inzichtelijk waar er daadwerkelijk verbeteringen mogelijk zijn in de supply chain en welke mogelijkheden er zijn om leveranciers aan te sturen. In

Hoofdstuk 5 zijn de volgende aspecten beschreven: het ontwikkelde simulatiemodel, de variabelen die getest worden en hun resultaten.

1.6 SCOPE VAN HET ONDERZOEK

Gegeven de beschikbare tijd en de omvang van het project ligt de focus van dit onderzoek op de proces- en data-analyse en de verwerking daarvan in een simulatiemodel. Het doorrekenen en implementeren van eventuele verbeteringen zullen door een opvolger gedaan worden. Daarnaast gelden alle verwerkingsinstallaties als black box: de aan- en afvoer is interessant maar de processen in de installaties worden buiten beschouwing gelaten. De ondersteunende afdelingen van Twence worden niet meegenomen in het onderzoek. De focus ligt op de kernactiviteiten.

2 PROCESANALYSE

In dit hoofdstuk wordt de volgende vraag beantwoord:

Hoe is de huidige interne en externe supply chain van Twence ingericht?

Hiervoor zal eerst een beschrijving worden gegeven van de interne verbanden. Vervolgens zal de logistieke keten beschreven worden. Dan wordt de afvalenergiecentrale (AEC) besproken samen met de biomassa-energiecentrale (BEC) en de bodemassen. Tenslotte wordt de planning en besluitvorming beschreven.

2.1 INTERNE VERBANDEN

Zoals beschreven in Hoofdstuk 1 zijn er, naast het storten van afval, veel processen gaande op het terrein van Twence (Twence B.V., 2015). Twence heeft verschillende installaties die onderling in verbinding staan. De dwarsverbanden tussen de verschillende installaties zijn in Figuur 2-1 schematisch weergegeven. Dit figuur dateert uit 2009. Er zijn in de periode tussen 2009 en nu verschillende installaties bijgekomen maar het geeft wel inzicht in de dwarsverbanden. Gedurende deze periode is er een afvalverbrandingslijn bijgekomen, Lijn 3, en is de naam veranderd van AVI naar AEC. De reden hiervoor is de stoomleiding naar AkzoNobel en de warmwaterleidingen naar Enschede Zuid. De composteringsinstallatie valt samen met de nieuwgebouwde Combivergister onder de noemer Bioconversie.

Twence verwerkt vier verschillende afvalstromen. Dit zijn: recyclebaar afval, biomassa, brandbaar afval en niet herbruikbaar of verwerkbaar afval. Aan de basis van het verwerken van deze afvalstromen liggen:

1. AEC, oftewel afvalenergiecentrale bestaande uit drie verbrandingslijnen. Hiervan zijn Lijn 1 en Lijn 2 gelijktijdig gebouwd en is Lijn 3 in 2009 in bedrijf gegaan. De doorzet van de AEC is ongeveer 600 kton op jaarbasis.
2. BEC, oftewel Biomassa-energiecentrale. Deze installatie is 2007 in bedrijf gegaan met als doel het opwekken van energie d.m.v. het verbranden van hout. De BEC verwerkt op jaarbasis ongeveer 165 kton biomassa.
3. BC, bioconversie-installatie. Deze installatie bestaat uit een Combivergister en een composteringsinstallatie. De BC verwerkt op jaarbasis ongeveer 140 kton biomassa.
4. TAS, Twence Afvalscheiding, hier wordt bouw- en sloopafval, droog bedrijfsafval en grof huishoudelijk afval verwerkt. De TAS verwerkt op jaarbasis ongeveer 55 kton aan recyclebaar afval.
5. Stort, een klein gedeelte van de totale afvalstroom is niet herbruikbaar of kan niet verwerkt worden. Op jaarbasis wordt er ongeveer 30kton van dit type afval gestort.

Het verwerken van deze afvalstromen zorgt voor een aantal reststromen. Een aantal van deze reststromen worden intern verwerkt. De grootste reststroom bestaat uit bodemassen. Bodemassen blijven over na de verbranding van afval in de AEC en de verbranding van hout in de BEC. Momenteel wordt een groot gedeelte van het terrein gebruikt als opslagplaats voor onder andere afval en hout. Dit ligt voor een groot gedeelte boven op een stortheuvel. De locatie voor tijdelijke opslag wordt ook wel TOP genoemd.

FIGUUR 2-1 DWARSVERBANDEN, MILIEUJAARVERSLAG TWENCE B.V. (2009)

2.2 LOGISTIEKE KETEN

Naast interne verbanden is Twence onderdeel van een logistieke keten. Deze logistiek keten is onderdeel van de supply chain.

Er is bij Twence gekeken naar de logistieke keten, te zien in Figuur 1-1, en de verantwoordelijke afdeling. De beschreven keten zegt niets over de waarde van de goederen, het betreft de stroom van goederen en afdelingen die verantwoordelijk zijn voor het desbetreffende gedeelte van de logistieke keten. De logistieke keten van Twence wijkt af van de standaard: de afdeling Marketing & Sales is te vinden aan beide kanten van Twence. Voor hulpstoffen en hout moet betaald worden maar voor het verwerken van brandbaar afval, recyclebaar afval en gft ontvangt Twence geld. M&S is verantwoordelijk voor het afsluiten van contracten met leveranciers en zit daarom aan beide kanten van de organisatie. De helft van de totale omzet wordt behaald door de prijs die betaald wordt door de leveranciers voor het verwerken van afvalstoffen. De andere helft wordt verdiend met het opwekken van energie. Deze energie wordt geleverd in de vorm van elektriciteit, stoom en warm water. Deze stromen worden echter niet meegenomen in het onderzoek. Logistiek gezien kan daar niet veel aan veranderd worden. De infrastructuur die hiervoor aanwezig is, heeft een maximumcapaciteit die ingrijpende investeringen nodig heeft.

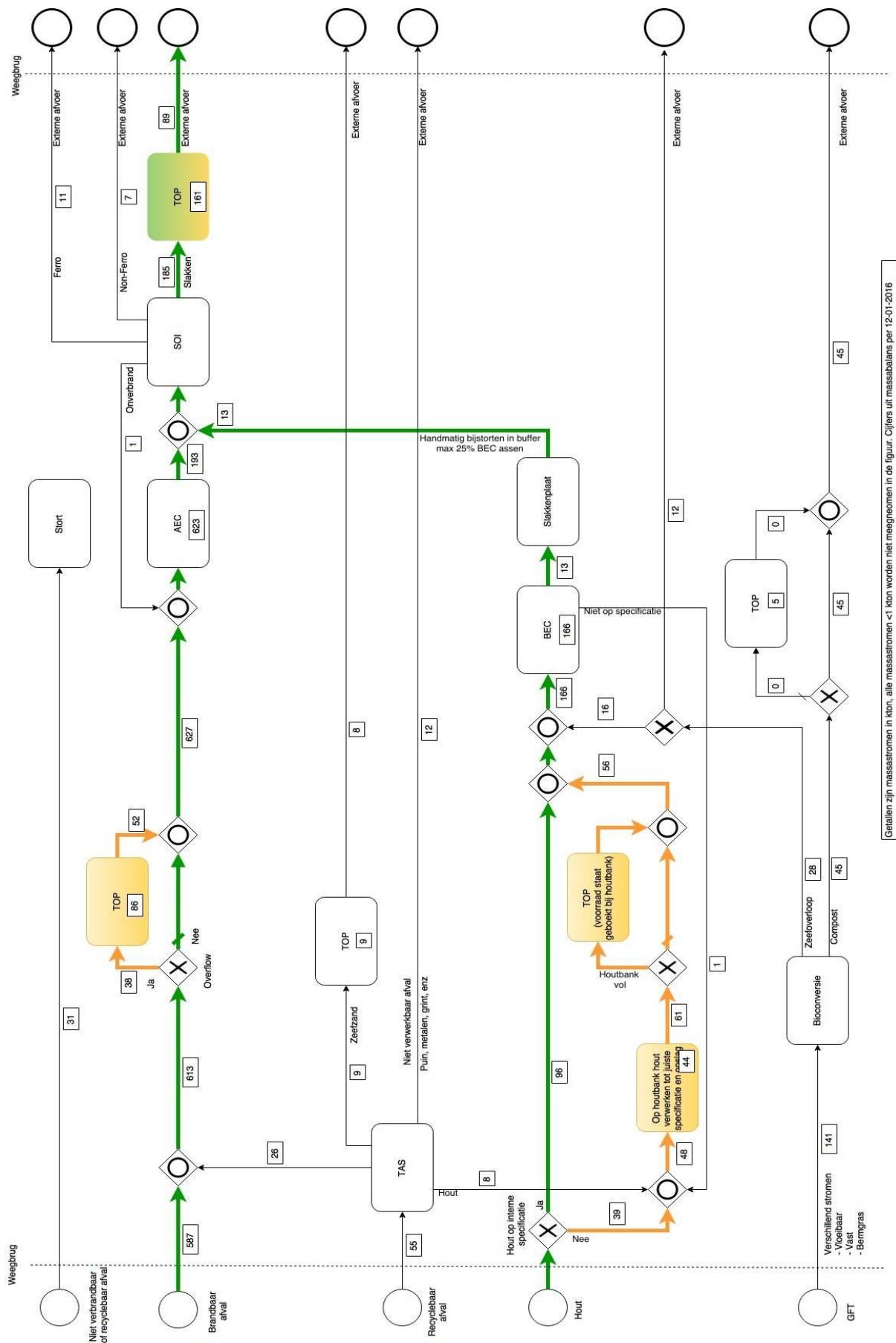
De afdeling Operations is verantwoordelijk voor alle processen die binnen Twence gebeuren. Wanneer de hulpstoffen en afvalstoffen over de weegbrug komen, verschuift de verantwoordelijkheid ook van M&S naar Operations.

Om een duidelijk beeld te krijgen van de logistieke keten van Twence is er een overzicht gemaakt van de primaire processen binnen Twence. De installaties worden hierbij beschouwd als een black box met input en output. De stromen van hulpstoffen worden niet beschreven in Figuur 2-2 net als alle stromen onder de één kton per jaar. Deze stromen zijn niet relevant voor het onderzoek en op deze manier is het figuur overzichtelijker. In de gesprekken met de directie en de werkgroep kwamen verschillende knelpunten in de supply chain naar boven, echter drie van deze punten verdienden topprioriteit: het omleiden (tijdelijk opslaan) van brandbaar afval, het verwerken en opslaan van hout voor de BEC en de opslag van bodemassen. Van deze drie verschillende entiteiten is in de afgelopen jaren een grote voorraad ontstaan.

Deze entiteiten volgen dan ook een niet ideale stroom over het terrein van Twence. De ideale stromen van hout en brandbaar afval worden aangegeven in het groen. Niet-ideale stromen worden aangegeven in het oranje. De groene lijn is genomen als uitgangspunt. Bodemassen moeten verplicht zes weken opgeslagen worden voor controle, echter de tijd die bodemassen langer op het terrein van Twence doorbrengen is niet ideaal. De bodemassen worden dan hard en dat neemt extra ruimte in. Daarom is het blok TOP na de SOI in het groen en geel aangegeven, bodemassen moeten er namelijk even opgeslagen worden maar liggen er in de praktijk vaak langer. De getallen bij de verschillende stromen zijn massa's in kton. Getallen in een blok (proces) zijn de massa's in kton die in 2015 zijn verwerkt.

Figuur 2-2 is hoofdzakelijk gemaakt om inzicht te krijgen in de verschillende stromen over het terrein van Twence. Om de stromen in kaart te kunnen brengen, zijn er gesprekken gevoerd met werknemers maar is er ook gekeken naar massabalansen. De massabalansen geven een overzicht wat er binnen Twence in en uit een installatie gaat. De massabalansen staan weergegeven in het informatiesysteem van Twence: Qlikview. Dit systeem geeft alleen de massa per entiteit weer en niet een overzicht van een

bepaalde afvalstof. Doordat de massabalansen aan elkaar gekoppeld zijn, is te achterhalen welke tonnages over bepaalde stromen heengaan.



Getallen zijn massastromen in kton, alle massastromen <1 kton worden niet meegenomen in de figuur. Cijfers uit massabalans per 12-01-2016

FIGUUR 2-2 INTERNE LOGISTIEK

2.3 AFVALENERGIE CENTRALE

De AEC heeft een capaciteit van ongeveer 600 kton per jaar. Van deze 600 kton moet ongeveer 200 kton verplicht afgenomen worden van de aandeelhouders, de Twentse gemeenten, de rest van de capaciteit mag vrij gecontracteerd worden.

De ideale route voor het verwerken van brandbaar afval is dat de leverancier het brandbaar afval direct stort in de bunker van de AEC. Dus de vrachtwagen wordt gewogen op de weegbrug en rijdt naar de stortvloer waar de vrachtwagen geleegd kan worden door een stortgat in de bunker van de AEC. De AEC heeft twee verschillende bunkers, een bunker voor Lijn 1 en 2 gezamenlijk en een bunker voor Lijn 3.

Afval kan geleverd worden op maandag t/m vrijdag tussen 07:00 en 19:00 uur, op deze tijden is de weegbrug open voor vrachtwagens. Dus de buffers moeten de capaciteit hebben om de AEC gedurende de nacht en gedurende de weekenden draaiende te houden. Het doel van in de planners is om elke dag evenveel afval geleverd te krijgen dus per dag dat de weegbrug open is wordt 5/7 van de wekelijkse te verbranden hoeveelheid geleverd. De effectieve capaciteit¹ van de buffer voor Lijn 1&2 is 4 kton, de effectieve capaciteit van de buffer voor Lijn 3 is 7 kton.

De doorzet van Lijn 1&2 op maximale capaciteit is 40 ton per uur, de doorzet van Lijn 3 33 ton per uur. De verbranding van afval in Lijn 3 levert, door een hogere energieopbrengst, ongeveer 25% meer op. In de volgende stappen worden Lijn 1&2 en Lijn 3 als één geheel beschouwd. Met de aanname dat bij een tekort aan afval dat eerst ten koste zal gaan van Lijn 1&2.

Naast de buffer is op het terrein van Twence tijdelijke opslag (TOP) van afval voor wanneer de buffer vol zit. Deze extra opslag is een extra veiligheid tegen tekorten, maar het omleiden van afval brengt extra kosten met zich mee en de verbrandingswaarde van afval daalt naarmate het langer opgeslagen ligt.

De kosten voor het transport van brandbaar afval op het terrein van Twence is voor rekening van de leverancier tot het moment van de eerste storting. Vanaf de eerste storting zijn de kosten voor rekening van Twence. Wanneer er afgeweken wordt van de groene lijn in Figuur 2-2 worden er kosten gemaakt.

2.4 BIOMASSA-ENERGIE CENTRALE

De BEC is in 2007 in bedrijf gegaan en is gericht op het opwekken van energie uit biomassa. Deze biomassa bestaat voor het grootste gedeelte uit sloophout en daarnaast ook nog uit moeilijk te composteren biomassa uit de bioconversie-installatie. Voordat hout verbrandt kan worden in de BEC moet het voldoen aan bepaalde specificaties. Eén daarvan is de afmeting: er kunnen geen grote stukken hout verwerkt worden door de BEC. Twence heeft hierbij twee keuzes: het hout op specificatie inkopen of het hout zelf op specificatie brengen. In Figuur 2-2 is dit schematisch weergegeven. Hout komt op specificatie binnen en wordt direct in de Houthal van de BEC gestort of het komt grof binnen en wordt gestort op de Houtbank waar het op specificatie wordt gebracht en wordt opgeslagen. Het ideale scenario, of uitgangspunt, is dat hout op specificatie wordt binnengebracht en direct naar de BEC toe wordt gereden. In dit geval worden er door Twence geen kosten gemaakt voor logistiek of het op specificatie brengen.

¹ Doordat de onderste laag afval uit de bunker niet gebruikt kan worden, vanwege de lage kwaliteit en vanwege het risico om de bunker te beschadigen, is de effectieve capaciteit van de bunker lager dan de absolute capaciteit.

2.5 BODEMASSEN

Wanneer er verbranding plaatsvindt in de AEC en de BEC blijven er reststoffen over. Deze reststoffen zijn te verdelen in twee categorieën, reststoffen die mee gaan in de rook en reststoffen die blijven liggen. De reststoffen die blijven liggen, ook wel bodemassen, zijn veruit het grootste gedeelte van de reststoffen. Bij de verbranding van afval blijft ongeveer 25% van de massa over als bodemassen en bij de verbranding van hout in de BEC blijft ongeveer 10% over. In de rook zit ook nog een gedeelte van de as, ook wel vliegash genoemd; deze assen worden uit de rook gehaald en afgevoerd. Deze vliegasen zijn zeer schadelijk voor het milieu maar bedragen maar een klein gedeelte van de totale massa.

De bodemassen van de AEC komen uit de verbrandingsoven terecht in de bunker waarna ze met een kraan op een lopende band worden gedumpt. Deze lopende band komt uit in de Slakken Opwerk Installatie (SOI). In de SOI worden bodemassen verwerkt zodat deze als bouwstof gebruikt kunnen worden. De bodemassen uit de BEC worden ongeveer één keer per week getransporteerd van de BEC naar de slakkenbunker van de AEC, vanaf dit punt volgen bodemassen uit de BEC dezelfde route als de bodemassen uit de AEC.

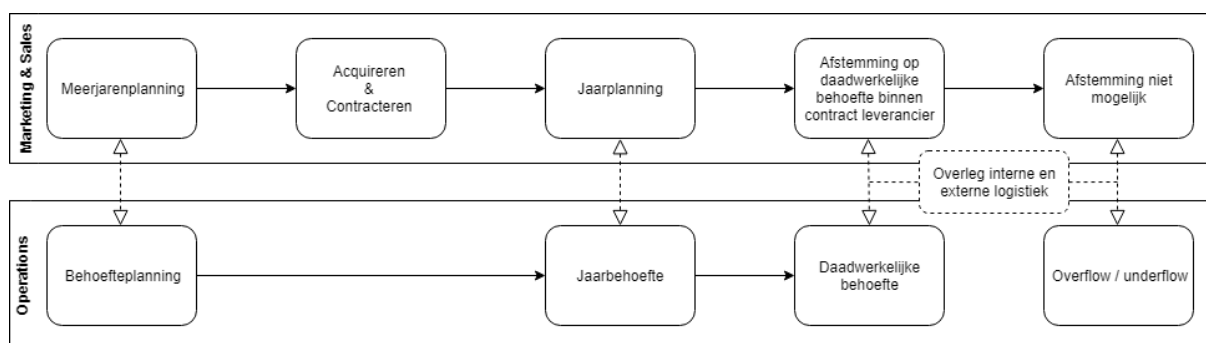
Wanneer de bodemassen worden verwerkt worden deze tot de juiste grote gebroken en worden ferro's en non-ferro's uit de bodemassen gefilterd. Dit is een belangrijk proces aangezien bodemassen aan wettelijk bepaalde specificaties moeten voldoen om afgezet te mogen worden. Na het verwerken van de bodemassen worden deze tijdelijk gestort op de Stort, deze moeten hier minimaal zes weken liggen. Na zes weken worden de bodemassen bemonstert en gecontroleerd of ze voldoen aan de norm. Wanneer de bodemassen voldoen aan de norm kunnen deze worden afgezet.

2.6 PLANNING

In Paragraaf 2.2 is de logistieke keten behandeld, zowel intern als extern. Echter omvat supply chain management veel meer dan alleen de logistieke processen. De bijbehorende besluitvorming is minstens zo belangrijk.

De AEC en BEC hebben als KPI naast het geplande onderhoud altijd te draaien. Deze kapitaalintensieve installaties moeten zo veel mogelijk draaien. Voor deze twee installaties kan ook voldoende brandstof gecontracteerd worden. De TAS heeft ook als doel om zo veel mogelijk afval te verwerken alleen is het aanbod van afval momenteel de beperkende factor. De BC kan niet altijd op 100% draaien want GFT van de Twentse gemeenten moet aangenomen worden en moet dan ook binnen 72 uur verwerkt worden. Gezien de grote fluctuaties in aanvoer is de BC-installatie gebouwd om pieken op te kunnen vangen.

In Figuur 2-3 wordt schematisch weergegeven hoe het planningsproces voor brandbaar afval en hout in zijn werk gaat.



FIGUUR 2-3 PLANNINGSproces

MEERJARENPLANNING

De planning voor de AEC en de BEC wordt gemaakt doormiddel van een samenspel tussen Operations en M&S. De eerste stap van het planningsproces is dan ook dat Operations een behoefteplanning opstelt voor meerdere jaren waarbij noodzakelijke onderhoudstops meegenomen worden. Wanneer de behoefteplanning bekend is kan M&S een meerjarenplanning opstellen. Deze planning loopt vijf jaar vooruit om te zorgen voor een voorspelbare aanvoer van afval. Wanneer de meerjarenplanning is opgesteld kunnen contracten afgesloten worden met leveranciers van afval en hout.

Van het brandbaar afval wat verwerkt wordt bij Twence komt ongeveer 200 kton uit de regio Twente, de rest wordt uit overige gedeelten van het land gehaald of komt uit het buitenland. Gezien de overcapaciteit van Nederlandse afvalverwerkers is het noodzakelijk om afval uit het buitenland te importeren. De totale hoeveelheid brandbaar afval in heel Nederland was in 2014 6.009 kton en de totaal vergunde capaciteit van alle AEC's gecombineerd was 8.010 kton. Om de volledige capaciteit te benutten moeten leverancier uit het buitenland gecontracteerd worden. Het hoofddoel van M&S is om te zorgen dat er genoeg afval gecontracteerd wordt om te voldoen aan de behoefteplanning. Omdat sommige contractonderhandelingen mislukken wordt er in eerste instantie gepoogd contracten af te sluiten voor een groter volume dan dat Twence kan verwerken.

JAARPLANNING

De meerjarenplanning wordt voor M&S in combinatie met Operations vertaald naar een jaarplanning. Dan wordt de gebudgetteerde hoeveelheid bepaald voor dat jaar. In Tabel 2-1 is het budget en de daadwerkelijke doorzet per jaar te zien. Wat opvalt aan deze tabel is dat gemiddeld genomen de doorzet op jaarbasis hoger is dan het budget voor het desbetreffende jaar. Dat wil dus zeggen dat bij een toename van de voorraad brandbaar afval de gecontracteerde hoeveelheid afval hoger was dan het budget.

TABEL 2-1 BUDGET EN DOORZET AEC

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	GEMIDDELD
BUDGET	574.000	578.000	580.000	613.000	603.000	610.000	593.000
VERBRAND	590.920	608.703	604.407	597.774	599.752	622.773	604.055
AFWIJKING BUDGET (TON)	16.920	30.703	24.407	-15.226	-3.248	12.773	11.055
AFWIJKING BUDGET (%)	3%	5%	4%	-2%	-1%	2%	2%

MAANDPLANNING

Wanneer de jaarplanning wordt vertaald naar de maandplanning wordt de volgende simpele rekensom gebruikt: budget per jaar gedeeld door 12. Dus de leveranciers zouden gedurende het hele jaar elke maand even veel afval moeten leveren. In de praktijk zitten hier echter fluctuaties in. Dit is waar het overleg tussen interne en externe logistiek mee om moet gaan. Externe logistiek probeert de leveringen op weekbasis zo goed mogelijk af te stemmen met de daadwerkelijke behoefte. Interne logistiek zorgt voor de afhandeling van het afval binnen Twence. Wanneer er overflow is wordt er afval naar de TOP toe gereden en wanneer er een tekort is wordt er afval van de TOP naar de AEC gereden. Daarnaast is in de afgesloten contracten de ruimte ingebouwd dat leveranciers 10% meer of minder mogen leveren dan de gecontracteerde hoeveelheid. Hierdoor kan Twence wel een hogere prijs vragen, maar dit zorgt ook voor een grotere variatie in de geleverde hoeveelheid afval.

2.7 CONCLUSIE

Hoofdstuk 2 geeft antwoord op de volgende deelvraag:

Hoe is de huidige interne en externe supply chain van Twence ingericht?

Zoals in Figuur 2-1 te zien was, heeft Twence verschillende installaties die onderling in verbinding staan. De vier afvalstromen die Twence verwerkt zijn recyclebaar afval, biomassa, brandbaar afval en niet herbruikbaar of verwerkbaar afval. Aan de basis van deze afvalstromen staan de AEC, BEC, BC, TAS en de stort. Het verwerken van deze afvalstromen zorgt voor reststromen waarvan sommigen intern verwerkt worden. Een groot gedeelte van het terrein bestaat uit de TOP.

Naast interne verbanden is Twence onderdeel van een logistieke keten. Deze logistieke keten is onderdeel van de supply chain. De keten in Figuur 1-1 betreft de stroom van goederen en afdelingen die verantwoordelijk zijn voor het desbetreffende gedeelte van de logistieke keten. M&S is verantwoordelijk voor het afsluiten van contracten met leveranciers en zit daarom aan beide kanten van de organisatie. De afdeling Operations is verantwoordelijk voor alle processen die binnen Twence gebeuren. Het omleiden (tijdelijk opslaan) van brandbaar afval, het verwerken en opslaan van hout voor de BEC en de opslag van bodemassen verdient prioriteit volgens de directie.

Afval verbranden is een continu proces. Om fluctuaties in het aanbod op te vangen zijn er buffers aangelegd voor het geleverde afval. Deze buffers afval worden aangelegd om ook buiten levertijden en in de weekend afval te kunnen verbranden. Alle transportkosten van afval zijn voor rekening van Twence vanaf de eerste afvalstorting. De biomassa bestaat vooral uit sloophout dat een bepaalde afmeting moet hebben. Twence kan kiezen uit het zelf op specificatie brengen of het op specificatie laten leveren. De bodemassen, die als grootste reststof ontstaan uit de verbranding in de AEC en de BEC, worden verwerkt in de SOI. Vervolgens worden de ferro's en non-ferro's uit de bodemassen gefilterd. Na verwerking worden de bodemassen tijdelijk gestort op de Stort, waar ze minimaal zes weken moeten liggen. Als de bodemassen voldoen aan de norm, worden ze afgezet.

Naast de logistieke processen is ook de bijbehorende besluitvorming belangrijk in supply chain management. De kapitaalintensieve installaties AEC en BEC moeten zo veel mogelijk draaien. De planning voor de AEC en de BEC wordt door zowel Operations als M&S gemaakt, waarbij Operations eerst een behoefteplanning maakt waarna M&S een meerjarenplanning kan opstellen. Tenslotte worden contracten afgesloten, welke meestal groter zijn dan het volume dat Twence kan verwerken. De meerjarenplanning wordt door beide partijen vertaald naar een jaarplanning. Deze jaarplanning

wordt ook nog vertaald naar een maandplanning. Door fluctuaties in het leveren van afval per maand, kan er een overflow ontstaan en wordt dit naar TOP gereden. Bij een tekort wordt er afval van TOP naar de AEC gebracht.

3 DATA-ANALYSE BRANDBAAR AFVAL

Het doel van de data-analyse is om inzichtelijk te maken wat de kosten zijn voor het omleiden van brandbaar afval. Om niet alle kosten uit te hoeven rekenen is eerst de ideale route van brandbaar afval bepaald en de kosten hiervan zijn op nul gesteld. In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de volgende drie vragen met betrekking tot brandbaar afval.

Wat zijn de karakteristieken van de verschillende interne stromen van goederen van Twence?

Welke kosten zijn er verbonden aan de huidige interne stromen van Twence?

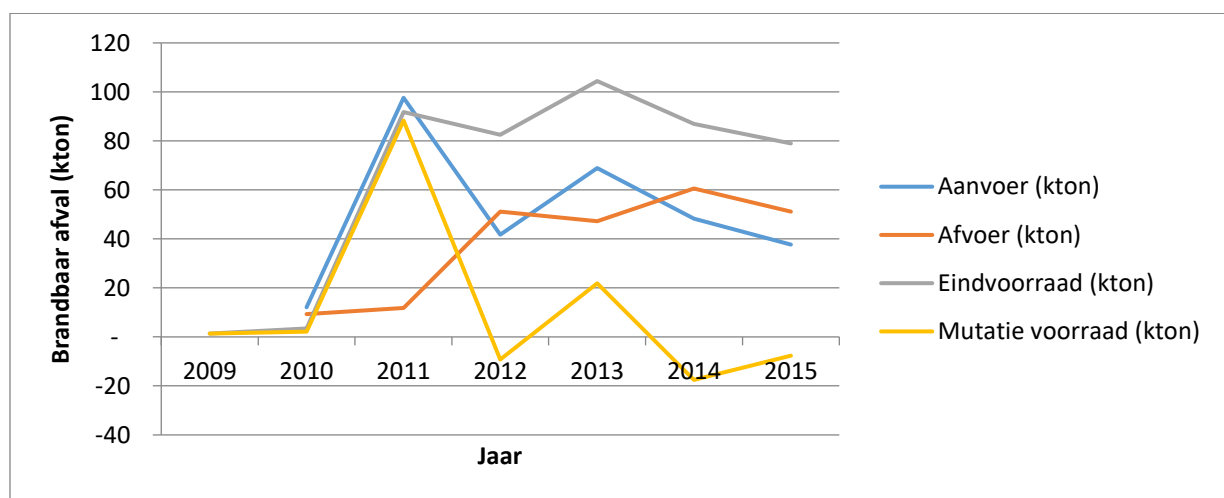
Wat zijn de gevolgen op de kwaliteit van hout en brandbaar afval bij opslag op TOP?

3.1 MASSASTROMEN

De volgende stap was het achterhalen van de tonnages die over de ideale route heen gegaan zijn of daarvan afgeweken zijn. Binnen Twence wordt SAP gebruikt als ERP, daarnaast wordt Qlikview gebruikt om overzichtelijke rapportages te maken. In Qlikview kan onder andere de massabalans per entiteit worden bekeken.

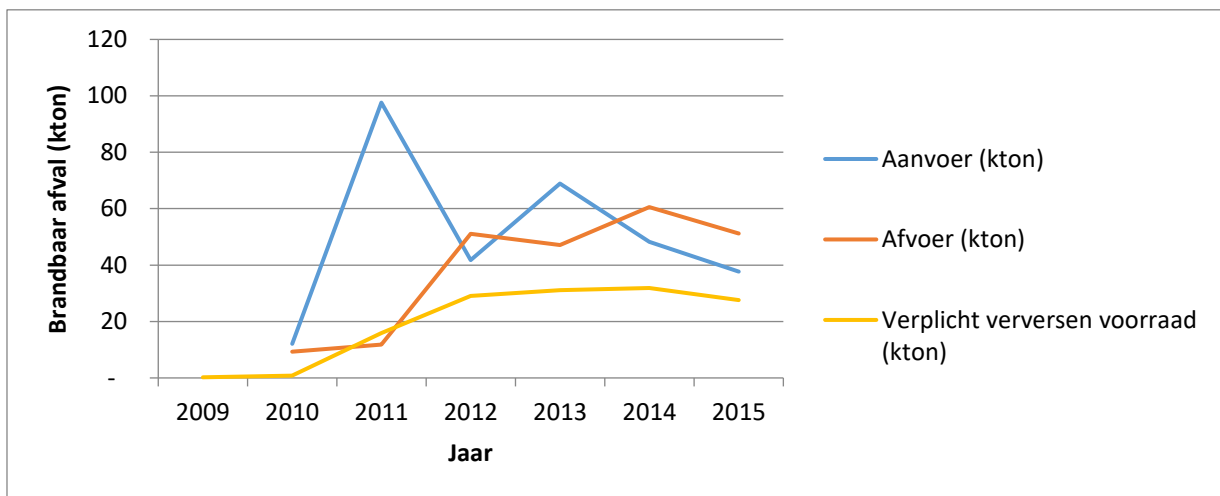
Uit gesprekken met medewerkers van Twence en uit de cijfers blijkt dat er voor 2010 bijna geen voorraad brandbaar afval was. In 2011 neemt de voorraad toe van 3 kton naar 91 kton. Van 2012 tot 2015 fluctueert de voorraad tussen de 80 kton en 100 kton. De plotselinge toename in 2011 is te verklaren door één simpele reden: afvalmining. In 2011 werd er een regeling ingevoerd door de Overheid waarmee de belasting op het 'permanent' gestorte afval teruggehaald kon worden door dit afval alsnog te verbranden. Het afgraven van gestort afval en dit verbranden was lucratiever dan het verbranden van afval wat aangeleverd werd door leveranciers. Om maximaal gebruik te kunnen maken van deze regeling heeft Twence in 2011 150 kton aan brandbaar afval afgegraven. Dit komt overeen met een kwart van de totale capaciteit van Twence. Echter zat Twence ook nog vast aan gecontracteerde leveringen van onder andere de Twentse gemeenten. Dit leidde ertoe dat er in 2015 een overschot ontstond van 90 kton.

Het is toegestaan om brandbaar afval maximaal drie jaar op te slaan alvorens het te verwerken. Na drie jaar geldt het als definitieve stort met groot negatief financieel effect.



FIGUUR 3-1 TONNAGES OMLEIDEN BRANDBAAR AFVAL

Opvallend aan Figuur 3-1 is dat na de stijging van de voorraad brandbaar afval in 2011 de hoeveelheid relatief constant is gebleven. Pas in 2014 en 2015 wordt de voorraad afgebouwd. De voorraad moet elke 3 jaar volledig verversd zijn om te zorgen dat het tijdelijk gestort brandbaar afval geen permanent gestort afval wordt. Dus elk jaar moet minimaal $\frac{1}{3}$ van de voorraad verversd worden. In de grafiek is te zien dat jaarlijks ongeveer de helft van de voorraad verversd wordt. Dit betekent dat het aanbod van afval niet altijd aansluit bij de capaciteit van de installaties. Op jaarbasis kan de behoefte en de planning wel bij elkaar aansluiten maar als dit op weekniveau niet zo is, waardoor de bunkers vol raken, moet er afval omgeleid worden naar de tijdelijke opslag. Zodoende wordt er op jaarbasis meer afval van en naar de TOP gereden dan strikt noodzakelijk is voor het verversen van de voorraad. In Figuur 3-2 is goed te zien dat de verplicht te verversen voorraad aanzienlijk lager ligt dan de daadwerkelijk verversde voorraad brandbaar afval. In Appendix A zijn de exacte cijfers te vinden.



FIGUUR 3-2 DAADWERKELIJKE EN NOODZAKELIJK OMLEIDING BRANDBAAR AFVAL

3.2 KOSTEN

Binnen Twence is bekend dat de grote hoeveelheid brandbaar afval een probleem is, ook de directie denkt dat het hebben van een voorraad veel geld kost. Echter wat de kosten exact zijn is niet bekend. Uit SAP kan gehaald worden wat de kosten zijn voor het omleiden van brandbaar afval, maar exact kan dit niet vanwege de methode waarop de kosten geboekt worden. Deze worden geboekt op een kostenplaats, in dit geval 'Integraal Storten Boldershoek' maar hier worden ook de kosten op geboekt voor al het andere dat opgeslagen wordt op de Stort. Hierdoor is het onduidelijk wat de directe kosten zijn voor het omleiden van brandbaar afval. De meest recente, en enige, cijfers stonden in een Excel bestand die een oud-werknemer van Twence gemaakt had aan de hand van zijn observaties. De directe kosten voor het omleiden van brandbaar afval waren volgens deze berekening p_{omleiden} per ton. Waarvan 64% voor het in opslag brengen en 36% voor het afvoeren van brandbaar afval. Deze cijfers komen uit 2013 en zijn daarna nooit meer geüpdatet of geverifieerd. Daarnaast stond in deze berekening ook dat het gaat om een schatting. Aan de hand van het verwerkte tonnage en de geschatte benodigdheden zijn de kosten berekend. Aangezien het om hoge tonnages gaat, de cijfers zijn gebaseerd op schattingen en niet meer zijn geüpdatet na 2013, is het belangrijk om deze cijfers na te rekenen.

Het narekenen van de kosten hebben we op twee manieren gedaan in dit onderzoek, door middel van een nacalculatie aan de hand van de geboekte kosten in SAP en daarna doormiddel van de geschatte benodigde materialen, manuren en de verwerkte tonnages.

NACALCULATIE

Wanneer een entiteit, bijvoorbeeld brandbaar afval, zich binnen Twence verplaatst tussen verschillende installaties of locaties worden de kosten geboekt bij de locatie waar de entiteit vandaan komt. Dus de kosten voor het transport van brandbaar afval van de Stort naar de AEC wordt geboekt op de kostenplaats 'Integraal Storten Boldershoek'. Wanneer brandbaar afval omgeleid wordt en een leverancier rijdt naar de Stort in plaats van de AEC worden de kosten geboekt bij de Stort.

Een overzicht van de kosten geboekt op een kostenplaats bestaat uit een lijst met verschillende orders. Deze orders hebben een omschrijving. Aan de hand van deze omschrijvingen was een groot gedeelte van de kosten toe te rekenen aan een bepaalde entiteit. In Appendix C is een gedeelte van het overzicht te zien. In 2015 was ongeveer 60% van de kosten toe te wijzen aan een entiteit. Dus een groot gedeelte van de kosten waren aan de hand van de ordernummers en omschrijvingen niet toe te wijzen aan een entiteit. Algemene orders zoals onderhoud van de wegen en huur van rijplaten zijn verdeeld over de verschillende entiteiten die op de stort liggen aan de hand van getransporteerde massa.

Nadat de totale kosten voor het omleiden van brandbaar afval bij benadering achterhaald waren kunnen deze gedeeld worden door het tonnage om de kosten per ton te berekenen. Nu zit er een verschil in het tonnage wat er in en uit opslag wordt gehaald, hier is het gemiddelde van genomen. De berekende resultaten hiervan zijn te zien in Tabel 3-1.

TABEL 3-1 NACALCULATIE BRANDBAAR AFVAL

	2012	2013	2014	2015
Massastromen in kton	46.469	58.062	54.408	44.466
Kosten per ton (x $p_{omleiden}$)	0,343	0,545	0,445	0,826

Zoals te zien is in de tabel wijken de waarden ver af van $p_{omleiden}$ waarmee Twence rekent. Doordat een groot gedeelte van de orders onduidelijk beschreven was kon niet herleid worden voor welke entiteit de kosten gemaakt worden. Wel is er een stijgende trend te zien. Deze trend is te verklaren doordat een groter gedeelte van de kosten is toe te wijzen aan een entiteit. In 2012 was dit ongeveer 20% en in 2015 ongeveer 60%.

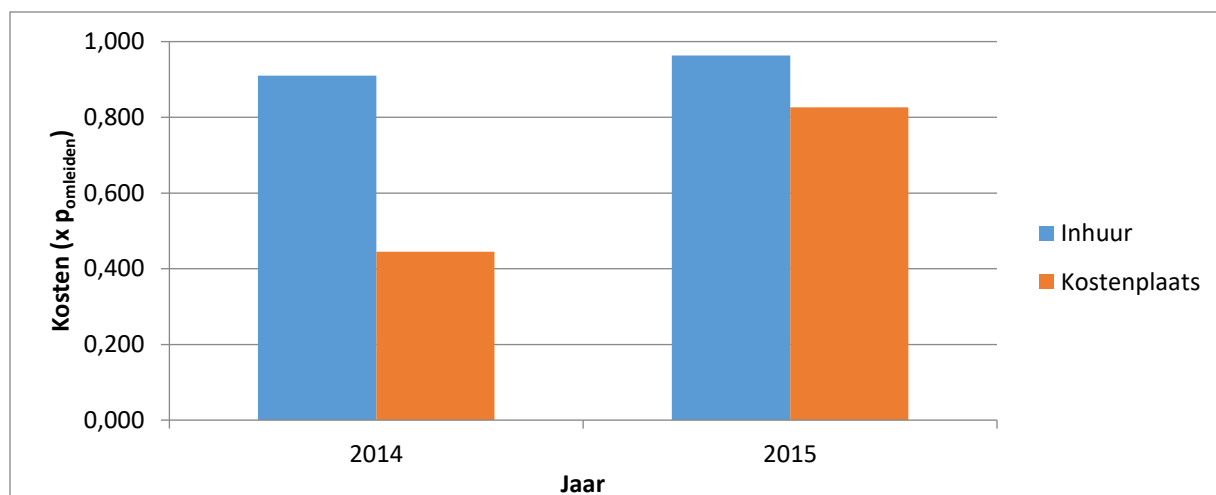
INHUUR

De tweede methode waarmee we de kosten per ton berekend hebben in dit onderzoek is gebaseerd op een inschatting van het benodigde materieel. Al het grote materieel wat rondrijdt op het terrein van Twence wordt extern ingehuurd. Het materieel wordt alleen ingehuurd op de dagen dat het nodig is, er is echter wel een minimumtermijn voor inhuur van een halve of een hele dag, afhankelijk van het materieel. In samenwerking met de opzichter van de stort en de manager van het terrein is er een inschatting gemaakt van het benodigde inhuur materieel. In Appendix E is een lijst te vinden waarop dit gebaseerd is. Aan de hand hiervan kan een prijs per dag berekend worden voor het in depot brengen van brandbaar afval of het uit depot halen van brandbaar afval. De volgende stap was om te achterhalen hoeveel dagen er brandbaar afval in en uit depot gebracht is. Zodoende worden de totale kosten berekend die dan weer gedeeld worden door het tonnage. In Tabel 3-2 is een overzicht te zien van de berekende kosten per ton van 2012 tot en met 2015.

TABEL 3-2 KOSTEN PER TON ADHV INHUUR

	2012	2013	2014	2015
Kosten per ton ($\times p_{\text{omleiden}}$)	0,769 ²	0,533 ²	0,910	0,964

Na de kosten op twee verschillende manieren te hebben berekend over de loop van meerdere jaren zit er veel verschil in de waarden. In Figuur 3-3 zijn de berekende kosten per ton voor het omleiden van brandbaar afval te zien.



FIGUUR 3-3 MARGINALE KOSTEN OMLEIDEN BRANDBAAR AFVAL

De berekende kosten voor het omleiden van brandbaar afval (p_{overflow}) in 2015 is 0,964 p_{omleiden} per ton, bestaande uit ongeveer 54,4% voor het transport van TOP naar de AEC en ongeveer 45,5% voor het opslaan van afval in TOP. In Figuur 3-2 is te zien dat de daadwerkelijk ververste voorraad brandbaar afval hoger ligt dan de hoeveelheid afval die wettelijk verplicht ververst moet worden. In Figuur 3-4 is te zien dat dit verschil ruim 15.000 $\times p_{\text{omleiden}}$ is aan directe kosten. In de praktijk zal dit verschil nog groter zijn doordat nu alleen de marginale kosten meegenomen worden.

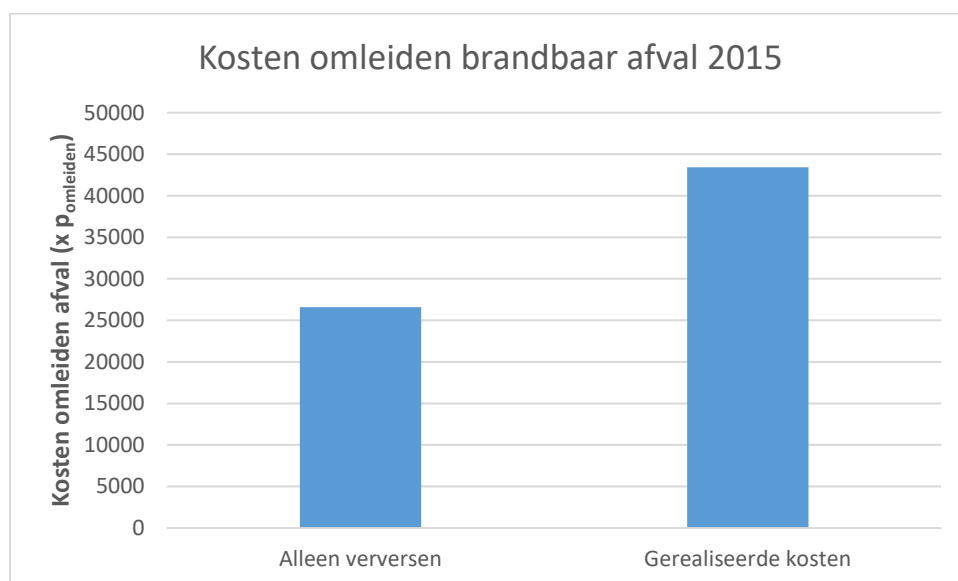
In de verdere berekeningen worden de kosten per ton aan de hand van inhuur gebruikt. Deze waarden geven een realistischer beeld van de daadwerkelijke kosten dan de kosten per ton aan de hand van de kostenplaats. Aan de hand van de kostenplaats zijn niet alle geboekte kosten te herleiden waardoor de berekening onnauwkeurig wordt. Wel is het belangrijk te vermelden dat dit alleen de directe kosten zijn. Andere invloeden zoals nat worden van afval, invloed op het stortoppervlak en dergelijke worden niet meegenomen in deze kosten.

² De prijs per ton in 2012 en 2013 is niet nauwkeurig. In die jaren was er een ander contract met de aannemer die met ander materiaal het afval in en uit depot haalde. De waarden uit 2012 en 2013 zijn wel representatief voor de daadwerkelijk gemaakte kosten.

TABEL 3-3 KOSTEN PER WEEK

	2012	2013	2014	2015	Gemiddeld
Teruggehaald afval (ton)	51.139	47.162	60.571	51.202	52.518
Omgeleid afval (ton)	41.799	68.962	48.245	37.729	49.184
Totale kosten (x p_{overflow})	0,80	0,55	0,94	1,00	0,82
Kosten per jaar (x p_{overflow})	3068,44	38176,08	45543,10	37728,45	38699,04
Kosten per week (x p_{overflow})	641,32	734,16	875,83	725,55	744,21

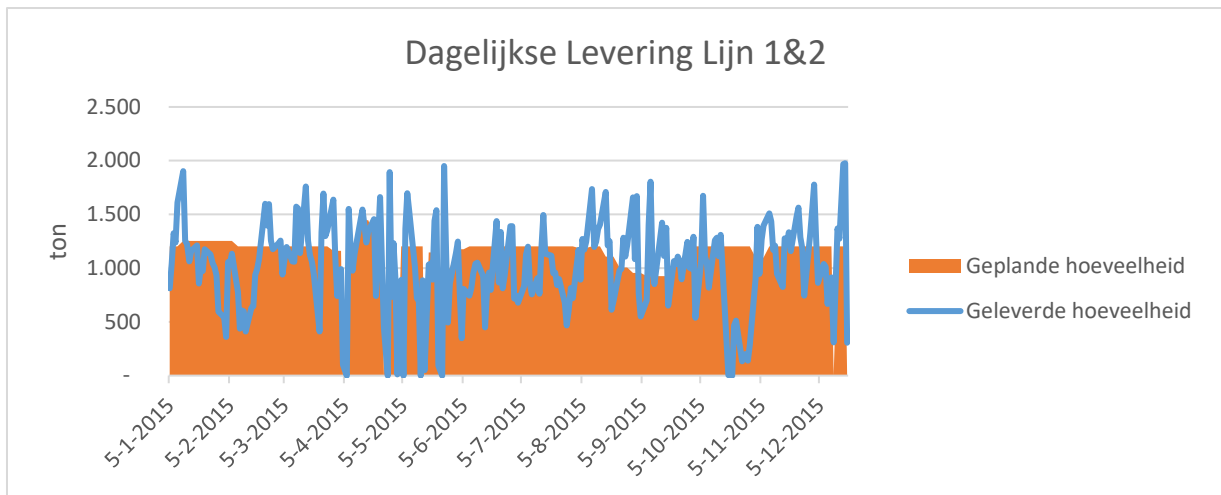
In de bovenstaande tabel is te zien dat Twence in 2015 wekelijks ruim $700 \times p_{\text{overflow}}$ kwijt is aan het omleiden van brandbaar afval.



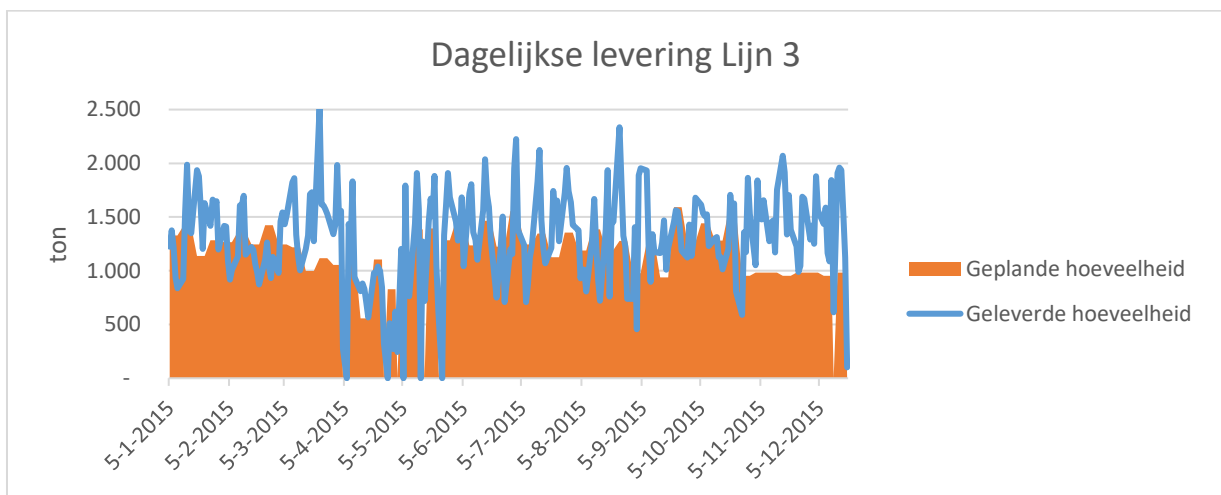
FIGUUR 3-4 KOSTEN OMLEIDEN BRANDBAAR AFVAL

3.3 VARIATIE OP DAGELIJKSE BASIS

Het eerste gedeelte van dit hoofdstuk beschrijft de massastromen per jaar. Echter de variatie in de aanvoer op dagelijkse basis zorgt ervoor dat de capaciteit van de buffers niet meer toereikend is. In Figuur 3-5 en Figuur 3-6 zijn de geplande (aan de hand van contract afspraken) en geleverde hoeveelheid afval uitgezet. Zoals te zien is zit hier regelmatig een aanzienlijk verschil tussen. Het kan voorkomen dat er meerdere dagen achter elkaar meer afval geleverd wordt dan gepland is. Wanneer de buffer vol is, moet dit afval omgeleid worden naar TOP. Om deze variatie te kunnen analyseren is het verschil tussen de geplande en de gerealiseerde geleverde hoeveelheid brandbaar afval uitgezet in een histogram.

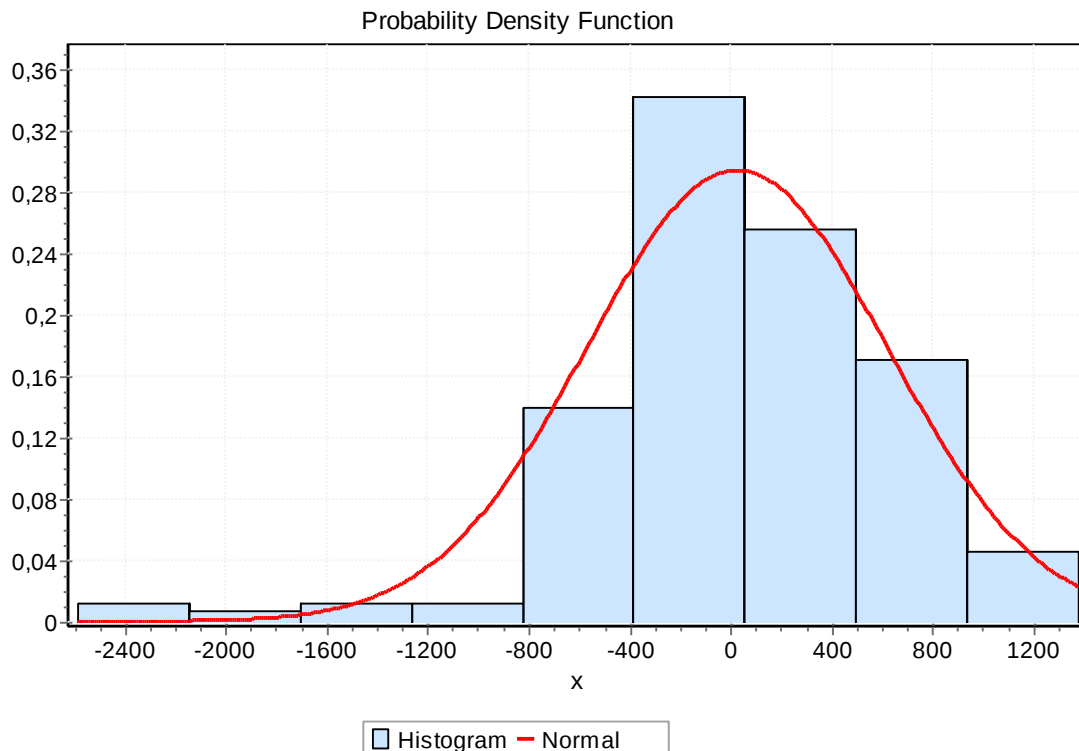


FIGUUR 3-5 DAGELIJKSE LEVERING LIJN 1&2



FIGUUR 3-6 DAGELIJKSE LEVERLING LIJN 3

Om de gevolgen van de afwijking tussen de geplande en de geleverde hoeveelheid afval te kunnen simuleren wordt aan de hand van historische data een passende verdeling gezocht. De afwijking tussen de geplande en de geleverde hoeveelheid afval is uitgezet in een histogram en met het programma Easyfit is naar een passende verdeling is gezocht. Hiervoor gebruiken we de normale verdeling. Dit is te zien in Figuur 3-7.



FIGUUR 3-7 GEFITTE VERDELING

De eigenschappen van de normale verdeling zijn als volgt: $\sigma = 596,34$, $\mu = 26,599$ en $N = 257$. Daarna zijn de Kolmogorov Smirnov test, de Anderson Darling test en de Chi-Squared test gebruikt om te bepalen of deze verdeling past bij de data. Met een kritische waarde van $\alpha < 0,05$ worden de drie bovengenoemde testen geaccepteerd. Deze verdeling wordt in Hoofdstuk 5 gebruikt bij de simulatie.

TABEL 3-4 KRITISCHE WAARDEN

	Statistic	Kritische waarde ($\alpha \leq 0,05$)	Accepteren
Kolmogorov Smirnov	0,06692	$c(\alpha) \geq 0,08471$	Ja
Anderson Darling	1,9294	$A^{*2} \leq 2,5018$	Ja
Chi-Squared	10,783	$\chi^2 \geq 15,507$	Ja

3.4 CONCLUSIE DATA-ANALYSE BRANDBAAR AFVAL

In dit hoofdstuk is antwoord gegeven op de volgende drie vragen met betrekking tot brandbaar afval.

Wat zijn de karakteristieken van de verschillende interne stromen van goederen van Twence?

Welke kosten zijn er verbonden aan de huidige interne stromen van Twence?

Wat zijn de gevolgen op de kwaliteit van hout en brandbaar afval bij opslag op TOP?

Het doel was om de kosten inzichtelijk te maken voor het omleiden van brandbaar afval. Voor 2010 was er bijna geen brandbaar afval, in 2011 nam de voorraad toe van 3k ton naar 91 kton en van 2012 tot 2015 fluctueerde de voorraad tussen 80kton en 100kton. Afvalmining is de oorzaak van de toename in 2011. De regeling had als gevolg dat 150kton (kwart van totale capaciteit) afval afgegraven werd omdat dit lucratiever was dan het verbranden van afval dat aangeleverd werd door leveranciers. Echter Twence

zat wel vast aan de contracteerde leveringen waardoor het overschot van 90kton ontstond. De voorraad afval moet elke drie jaar verversd worden om niet als permanent gestort afval te worden aangemerkt. Dit betekent dat elk jaar minimaal 1/3 verversd moet worden wat in de praktijk neerkomt op jaarlijks ongeveer de helft van de voorraad. Echter, blijkt het dat er op jaarbasis meer afval van en naar TOP wordt gereden dan noodzakelijk is, zoals ook te zien is in Figuur 3-2.

De kosten voor het omleiden van afval zijn door een medewerker van Twence berekend in 2013 op p_{omleiden} per ton. Daarna zijn deze getallen niet meer geactualiseerd. Om te controleren of dit getal nog klopt zijn op twee manieren de kosten voor het omleiden van brandbaar afval berekend. Doormiddel van een nacalculatie en door middel van het ingehuurde materiaal en mankracht. De nacalculatie, waarbij de kosten berekend zijn door orders op de kostenplaats 'Integraal Storten Boldershoek' te indexeren, is het minst nauwkeurig van de twee methoden. De orders waren niet goed te indexeren waardoor kosten niet duidelijk toegewezen konden worden. Gevolg hiervan is dat de berekende kosten aanzienlijk lager uitvallen dan de daadwerkelijke kosten. In 2015 waren de met nacalculatie berekende kosten voor het omleiden van brandbaar afval $0,826 \times p_{\text{omleiden}}$ per ton. De tweede methode, aan de hand van inhuur, geeft een goede benadering van de kosten. Door eerst te bepalen hoeveel mankracht nodig is voor het omleiden en te bepalen hoeveel dagen er sprake was van het omleiden van afval kunnen de kosten berekend worden. De berekende kosten aan de hand van inhuur (p_{overflow}) kwamen in 2015 uit op $0,910 \times p_{\text{omleiden}}$ per ton.

4 DATA-ANALYSE HOUT

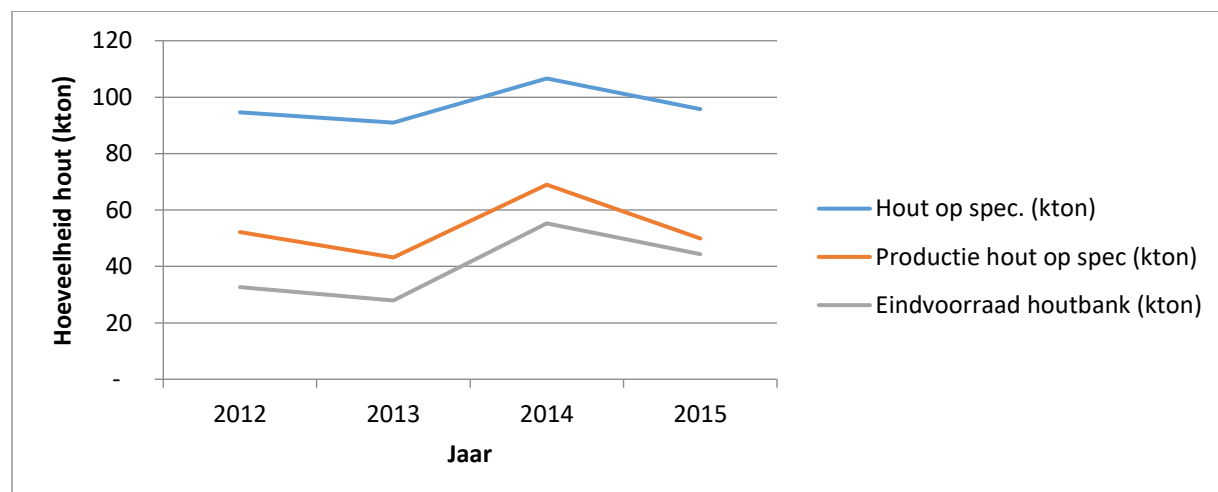
Het tweede focuspunt is hout, of wel biomassa voor de BEC. In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de volgende drie vragen met betrekking tot hout.

Wat zijn de karakteristieken van de verschillende interne stromen van goederen van Twence?

Welke kosten zijn er verbonden aan de huidige interne stromen van Twence?

Wat zijn de gevolgen op de kwaliteit van hout en brandbaar afval bij opslag op TOP?

Hout komt of op specificatie binnen en gaat direct naar de Houthal of wordt intern op specificatie gebracht. De BEC verwerkt op jaarbasis ruim 160 kton aan hout. Van deze 160 kton komt ongeveer 100 kton op specificatie binnen en de rest wordt op specificatie gebracht. In Figuur 4-1 zijn de massastromen van hout te zien. Wanneer hout op specificatie gebracht moet worden gebeurd dat met een shredder op de houtbank. Wanneer er genoeg ongebroken hout op voorraad is wordt het hout op specificatie gebracht. Het materieel en de mankracht die nodig is voor het intern op specificatie brengen van het hout wordt ingehuurd door Twence.



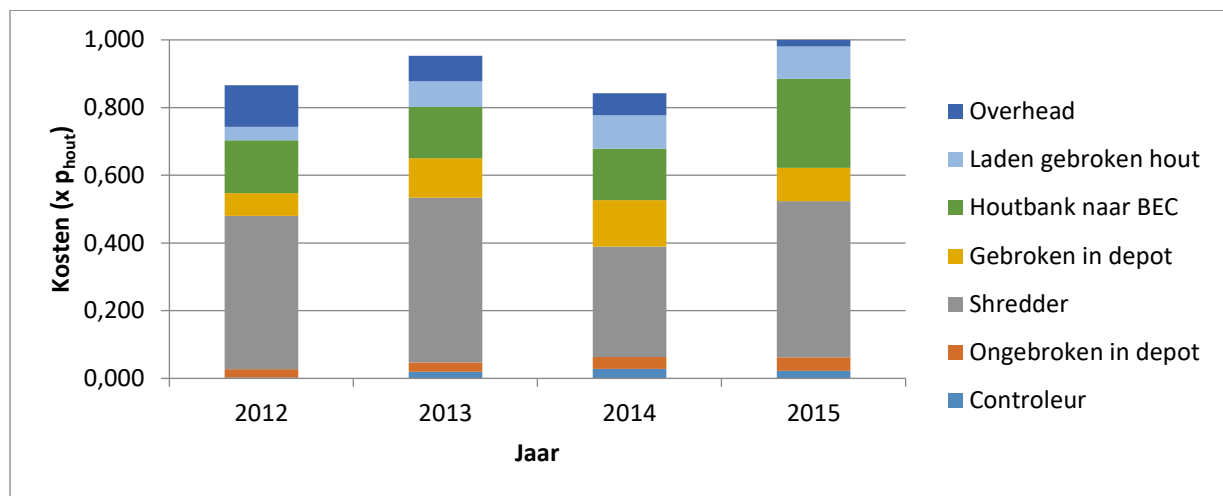
FIGUUR 4-1 MASSASTROMEN HOUT

Voordat de BEC in bedrijf ging bracht Twence al hout op specificatie om te verkopen aan andere biomassa-energiecentrales. Hiervoor was de houtbank ingericht, een verhard oppervlak op het terrein van Twence met ommuurde compartimenten waar hout op specificatie opgeslagen kan worden. De houtbank heeft een capaciteit van ongeveer 15 kton. Zoals te zien is in Figuur 4-1 is de totale hoeveelheid hout op specificatie groter dan 15 kton, een gevolg hiervan is dat het hout elders op het terrein opgeslagen moet worden.

4.1 HOUT OP SPECIFICATIE BRENGEN

Voordat Twence zelf de BEC had werd geld verdiend met het op specificatie brengen van hout. Om te kijken wat de kosten voor het op specificatie brengen van hout de afgelopen jaren waren, is voor dit onderzoek een nacalculatie gedaan. Door alle orders binnen de kostenplaats 'Houtbank' toe te wijzen aan een bepaalde categorie kan bepaald worden wat de daadwerkelijke kosten zijn. In tegenstelling tot de 'Integraal Storten Boldershoek' wordt op de kostenplaats 'Houtbank' alleen de kosten geboekt voor het op specificatie brengen en het opslaan van hout. In Figuur 4-2 zijn de kosten voor het op specificatie

brengen van hout te zien. Deze kosten zijn berekend door alle kosten geboekt op 'Houtbank' te indexeren en toe te wijzen aan een categorie. Zo is inzichtelijk gemaakt welk aandeel een categorie heeft in de totale kosten.



FIGUUR 4-2 DIRECTE KOSTEN OP SPECIFICATIE BRENGEN HOUT

Zoals te zien is fluctueert de berekende prijs voor het op specificatie brengen van hout met ongeveer 0,13 p_{hout} met het grootste verschil tussen 2014 en 2015. Dit verschil is te verklaren door verschillende redenen. In 2014 waren de kosten voor het breken van hout lager dan in 2015. Dit heeft te maken met de batch grootte van het breken. De shredder wordt ingehuurd per dag, wanneer deze dan niet de volledige dag draait is de prijs per ton voor het verwerken van hout hoger. Daarnaast zijn de transportkosten van hout naar de BEC in 2015 hoger. Belangrijk om hierbij te vermelden is dat ook de transportkosten van hout dat op de TOP ligt opgeslagen onder deze noemer valt. Wanneer hout op de TOP ligt moet het verder getransporteerd worden. Deze extra afstand veroorzaakt extra kosten waardoor de prijs voor een ton hout op specificatie stijgt. Hout dat op specificatie geleverd wordt, wordt gelijk gestort in de buffer van de BEC. Dus er zijn alleen transportkosten voor hout dat zelf op specificatie gebracht wordt. In 2015 is men het FIFO-mechanisme strenger gaan toepassen, met als gevolg dat hout wat op afgelegen plaatsen lag opgeslagen ook naar de BEC getransporteerd moest worden.

Opslaglocaties voor gebroken hout zijn niet te traceren in SAP of Qlikview. Wanneer een stapel hout op het terrein van Twence ligt opgeslagen, staat ongeacht de fysieke locatie op het terrein dat het hout op de Houtbank ligt. De opzichter van de houtbank weet wel welke stapel hout waar ligt maar dit is niet terug te vinden in SAP. Gevolg hiervan is dat niet eenvoudig te achterhalen is welke kosten er verbonden zijn aan het opslaan van hout buiten de houtbank.

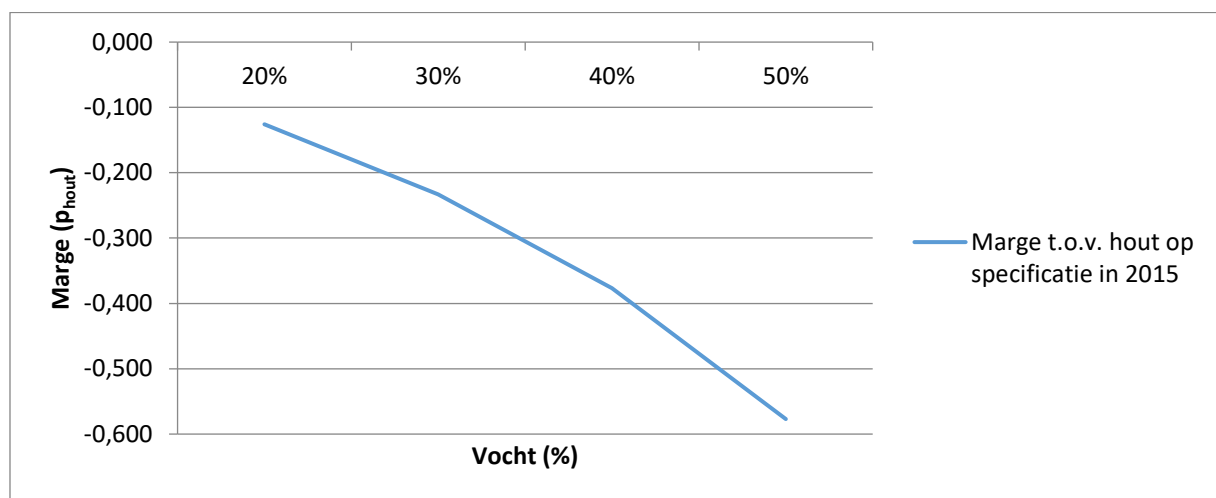
Uit berekening blijkt dat ongebroken hout goedkoper is dan hout op specificatie. Zoals in Tabel 4-1 te zien is, was het in 2012 nog goedkoper om zelf hout op specificatie te brengen dan het hout op specificatie in te kopen echter in de daaropvolgende jaren was het zelf op specificatie brengen van hout duurder. Dit terwijl de verwachting nog steeds was dat er geld verdiend werd met het op specificatie brengen van hout.

TABEL 4-1 MARGE HOUT OP SPECIFICATIE TOV ONGEBROKEN HOUT

	2012	2013	2014	2015
Vershil inkoopprijs (x p_{hout})	1,000	0,836	0,811	0,874
Kosten op specificatie brengen (x p_{hout})	0,866	0,953	0,842	1,000
Marge (x p_{hout})	0,134	-0,117	-0,031	-0,126

Daarnaast zijn dit alleen nog maar de directe kosten voor het op specificatie brengen van hout. In tegenstelling tot afval is de invloed van (regen)water op de verbrandingswaarde van hout wel degelijk te merken. De verbrandingswaarde per ton daalt wanneer hout nat wordt, echter stijgt de totale massa van de voorraad hout dan ook. Hierdoor neemt de totale verbrandingswaarde minder hard af. Het gemiddelde vochtpercentage van hout dat verbrand wordt in de BEC is 20%, wanneer hout echter opgeslagen wordt op het terrein van Twence wordt het nat. Hout dat op specificatie geleverd wordt kan gelijk worden gestort in de overdekte bunker. Hierdoor wordt het niet nat in tegenstelling tot ongebroken hout dat niet overdekt op wordt opgeslagen op het terrein van Twence.

Een hoger vochtpercentage dan 20% heeft een negatief effect op de verbrandingswaarde, wanneer het vochtpercentage stijgt daalt de verbrandingswaarde. Doordat de verbrandingswaarde daalt vermindert de opbrengst door verbranding ook. De invloed van het vochtpercentage op de opbrengst is berekend en uitgezet in Figuur 4-3 is te zien wat er met de opbrengst van een ton hout gebeurt wanneer het vochtpercentage stijgt. Vergeleken met hout op specificatie is de opbrengst voor ongebroken hout met een vochtpercentage berekend op 0,126 p_{hout} . Wanneer het vochtpercentage toeneemt daalt de opbrengst nog verder.



FIGUUR 4-3 MARGE IN 2015 ONGEBROKEN HOUT INCLUSIEF INVLOED VOCHT

In de bovenstaande figuur is de invloed van desintegratie van hout niet meegenomen. Wanneer hout opgeslagen ligt begint het met afbreken waardoor de verbrandingswaarde verder afneemt. Waardoor het (lang) opslaan van hout zorgt voor een lagere opbrengst bij verbranding. Daarnaast wordt het gebruik van het terrein, de benodigde infrastructuur en andere indirecte kosten niet meegerekend in kosten voor het op specificatie brengen en opslag van ongebroken hout. Alleen de directe kosten geboekt op kostenplaats 'Houtbank' worden meegenomen.

4.2 CONCLUSIE DATA-ANALYSE HOUT

In Hoofdstuk 4 is antwoord gegeven op de volgende drie vragen met betrekking tot hout:

Wat zijn de karakteristieken van de verschillende interne stromen van goederen van Twence met betrekking tot hout?

Welke kosten zijn er verbonden aan de huidige interne stromen van Twence met betrekking tot hout?

Wat zijn de gevolgen op de kwaliteit van hout bij opslag op TOP?

Van de 160kton hout die bij Twence jaarlijks binnenkomt, komt ongeveer 100kton op specificatie binnen en de rest moet nog op specificatie gebracht worden. Het materieel en de benodigde mankracht die nodig zijn voor het intern op specificatie brengen van hout wordt ingehuurd door Twence. De capaciteit van de houtbank is ongeveer 15kton. Een overschot is wordt dus elders opgeslagen. Een nacalculatie is uitgevoerd om te berekenen wat de kosten voor het op specificatie brengen waren. De verschillende orders binnen de Houtbank zijn toegewezen aan bepaalde categorieën om de kosten te bepalen. In 2012 $0,134 p_{\text{hout}}$ was het goedkoper om hout zelf op specificatie te brengen. Zelf op specificatie brengen leverde in 2012 per ton op vergeleken met direct inkomen van hout op specificatie. In de jaren daaropvolgend is dat omgedraaid. In 2015 was het $0,126 p_{\text{hout}}$ per ton duurder om hout zelf op specificatie te brengen. De verwachting was echter dat er nog geld verdiend werd met het op specificatie brengen.

De kosten voor het breken van afval zijn berekend aan de hand van alle orders die toegewezen waren aan de kostenplaats 'Houtbank'. Wanneer hout nat wordt daalt de verbrandingswaarde en daarmee de opbrengst. Wanneer het vochtpercentage met 10% stijgt, daalt de opbrengst met ongeveer $0,126 p_{\text{hout}}$ per ton. Op specificatie geleverd hout wordt gelijk in de overdekte buffer gestort en ondervindt geen gevolgen van (regen)water. Dit negatieve effect is niet meegenomen in de berekening van de kosten van het op specificatie brengen van hout, echter hier moet wel rekening mee gehouden worden wanneer de keuze tussen ongebroken hout en hout op specificatie gemaakt wordt.

5 SIMULATIE

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat de effecten van de variabelen zijn op de supply chain van Twence. Allereerst wordt er een beschrijving van het model gegeven. Daarna worden de verschillende scenario's beschreven met de variabelen. Als volgt is er een analyse gegeven van de resultaten in die verschillende scenario's. De resultaten zoals ze uit het simulatiemodel komen worden besproken in deze paragraaf. Tenslotte is nog een conclusie gegeven van dit hoofdstuk. Er wordt in dit hoofdstuk antwoord gegeven op de deelvragen 5 en 6:

5 Wat zijn de effecten van verschillende variabelen op de supply chain van Twence?

6 Welke mogelijkheden zijn er om leveranciers aan te sturen zodat de hoeveelheid grondstoffen en de timing daarvan aansluit bij de wensen van Twence?

Aan de hand van de verdeling in paragraaf 3.3 wordt berekend wat de afwijking van de geplande hoeveelheid afval is op dagelijkse basis. Dan kan de invloed van het gemiddelde van de verdeling, de variantie en de grootte van TOP worden bepaald. Daarna kunnen de kosten worden berekend. Door het testen van verschillende variabelen, kan uiteindelijk de beste operationele strategie worden bepaald. Een simulatiemodel is volgens Pidd (2002) ten slotte ook een middel waarmee dynamische experimenten kunnen worden uitgevoerd. De gebruiker van het model kan verschillende scenario's inzichtelijk maken waardoor het goed te volgen is wat er kan gebeuren in de praktijk. Zeker als het om ingrijpende veranderingen gaat, is een simulatie ten opzichte van de praktijk veel goedkoper, sneller, en vooral ook veiliger om mee te experimenteren (Pidd, 2002).

Variabelen die getest moeten gaan worden in het model zijn:

- μ : het gemiddelde van de verdeling uit paragraaf 3.3.

Op dagelijkse basis is de geleverde hoeveelheid afval niet gelijk aan de geplande hoeveelheid afval. In 2015 werd er dagelijks gemiddeld 26,6 ton meer geleverd dan gepland.

De kosten voor overschot zijn op de korte termijn hoger dan de kosten voor een tekort. Maar uiteindelijk moet al het afval wat naar Twence gebracht wordt, al dan niet intern, verwerkt worden. Dus wat is de invloed van μ op de totale kosten.

- σ^2 : de variantie van de verdeling uit paragraaf 3.3.

Wanneer Twence op dagelijkse basis meer invloed heeft op leveranciers kan de variantie in geleverd afval dalen waardoor het verschil tussen gepland en gerealiseerd kleiner wordt. Hierdoor is de levering stabiel en hoeft er minder omgeleid te worden en is er minder TOP nodig.

- Maximale grootte van de TOP

Naast de buffer in het systeem is er nog een opslag op het terrein van Twence waar afval opgeslagen kan worden: de TOP. De TOP geeft zekerheid maar brengt ook extra kosten met zich mee, omleiden kost geld, oppervlak op het terrein van Twence wordt bezet en de verbrandingswaarde van het afval daalt. Daarnaast moet omgeleid afval binnen drie jaar verbrand worden. Dus het omleiden brengt kosten met zich mee. Wat is het effect van de capaciteit van TOP op de totale kosten?

5.1 INPUT VAN HET MODEL

De input van het model is te verdelen in vaste en variabele input zoals te vinden in Tabel 5-1. De kosten, opbrengst, doorzet, aanvoer en buffercapaciteit zijn vaste waarden. De variabele input is te vinden onder het kopje variabelen.

TABEL 5-1 INPUT MODEL

Kosten		
Overflow	1,000	p_{overflow} per ton
Afvoeren	1,893	p_{overflow} per ton
Tekort	4,731	p_{overflow} per ton
Eindafvoer TOP	1,893	p_{overflow} per ton
Opbrengst		
Lijn 1 + 2	4,693	p_{overflow} per ton
Lijn 3	5,905	p_{overflow} per ton
Doorzet		
Lijn 1 + 2	40	ton per uur
Lijn 3	33	ton per uur
Aanvoer		
Lijn 1 + 2	1344	per werkdag
Lijn 3	1109	per werkdag
Buffer capaciteit		
Lijn 1 + 2	4000	ton
Lijn 3	7000	ton
Variabelen		
Afwijking van geplande aanvoer	Normaal [26,599 ; 596,34]	
Capaciteit TOP	0 tot 12.000	ton
Looptijd simulatie	25	weken
Iteraties per simulatie	50	Keer
Leveranciersrestrictie	Maximale afwijking van contract op dagelijkse basis	

Kosten

De kosten zijn vaste waarden in de input. De kosten voor overflow zijn berekend in Hoofdstuk 4 door middel van het benodigde ingehuurd materieel. De kosten voor een tekort zijn gegeven door Twence. De kosten voor het extern afvoeren zijn bepaald op 1,893 p_{overflow} per ton door interviews met experts.

Opbrengst

De opbrengst is 1,211 p_{overflow} per ton hoger voor Lijn 3 dan voor Lijn 1 + 2. Daarom wordt bij een eventueel tekort aan afval de voorkeur gegeven aan Lijn 3. De kosten voor een tekort worden daarom gesteld op 1,211 p_{overflow} per ton.

Doorzet

Wanneer de bezettingsgraad van Lijn 1+2 en Lijn 3 op 100% zit is de wekelijkse doorzet 1.752 ton per 24 uur.

Aanvoer

De aanvoer van afval is alleen mogelijk op werkdagen. In het model is geen rekening gehouden met vakantiedagen en heeft een week van 7 dagen 5 werkdagen. Per werkdag moet 2.452,8 ton afval geleverd worden om te voldoen aan de vraag. De inhoud van de buffer aan de start van elke simulatie is 5000 ton.

Buffercapaciteit

De buffers van Lijn 1+2 en Lijn 3 worden in het model gezien als een buffer met een capaciteit van 11.000 ton.

Afwijking van geplande aanvoer

De geplande aanvoer is 2.452,8 ton per werkdag. De geleverde hoeveelheid wijkt af van de geplande hoeveelheid volgens een normale verdeling met een μ van 26,599 ton en een σ van 596,34 ton. In het model worden simulaties gemaakt met een μ variërende van -20 ton tot 60 ton per werkdag. Ook worden simulaties gedaan met verschillende waarden voor σ . Er wordt getest met een standaardafwijking van $\frac{1}{4}\sigma$ tot 2σ .

Capaciteit TOP

Er wordt getest wat de gevolgen zijn van de capaciteit van TOP voor de totale kosten. De capaciteit varieert van 0 tot 12.000 ton. Deze capaciteit is bepaald door ruim de maximale capaciteit van de buffer te nemen.

Looptijd simulatie

De looptijd van de simulatie is gesteld op 25 weken. Binnen deze termijn kunnen leveranciers moeilijk bijgestuurd worden waardoor geen invloed uitgeoefend kan worden op de afwijking van de geplande hoeveelheid afval dat geleverd moet worden. Op een termijn van meer dan 25 weken kan Twence invloed uitoefenen op de leveranciers waardoor hoeveelheden bijgestuurd kunnen worden en de verdeling niet meer representatief is.

Iteraties per simulatie

Het aantal iteraties per simulatie is gesteld op 50.

Leveranciersrestrictie

Twence heeft contractueel vastgelegd dat leveranciers binnen 10% marge van de gecontracteerde hoeveelheid afval moeten blijven. Echter is deze 10% niet op dagelijkse basis. In paragraaf 3.3 is te zien dat deze afwijking veel groter kan zijn. Om te onderzoeken hoeveel invloed het naleven van de 10% grens op dagelijkse basis heeft zijn alle experimenten twee keer uitgevoerd. Eén keer wordt de afwijking van de geplande hoeveelheid bepaald door de gevonden verdeling uit paragraaf 3.3. En één keer wordt

de maximale afwijking van het de geplande hoeveelheid beperkt tot 10%. Wanneer de berekende waarde meer afwijkt dan 10% wordt deze beperkt tot de grenswaarde.

5.2 OUTPUT

In Figuur 5-1 is een schematische weergave van het simulatiemodel te zien. Elke cyclus bestaat uit 25 weken van zeven dagen. Elke week heeft 5 werkdagen. Op elke werkdag wordt er afval geleverd. De geleverde hoeveelheid afval wordt bepaald door de in paragraaf 3.1 gevonden normale verdeling. De dagelijkse doorzet is bekend. De aanvoer plus de voorraad afval in de buffer van de vorige dag min de doorzet kan resulteren in één van de drie volgende opties.

1. De buffer capaciteit is toereikend en de voorraad is voldoende. Wanneer er sprake is van dit scenario is de geleverde hoeveelheid plus de inhoud van de buffer niet meer dan de capaciteit van de buffer en is de inhoud voldoende om te voldoen aan de vraag. Dit is het ideale scenario omdat er in dit geval geen sprake is van extra handelingen of kosten.
2. De tweede optie is dat de inhoud van de buffer plus de geleverde hoeveelheid groter is dan de capaciteit van de buffer. Dan is er sprake van overflow. In het geval van overflow zijn er twee mogelijkheden.
 - a. Er is capaciteit beschikbaar op TOP. TOP wordt dan aangevuld met de overflow. Mocht de beschikbare capaciteit van TOP niet voldoende zijn voor de overflow dan wordt afval afgevoerd.
 - b. Wanneer er geen TOP capaciteit beschikbaar is, wordt de overflow afgevoerd.
3. In het derde geval is de inhoud van de buffer plus de geleverde hoeveelheid niet voldoende om te voldoen aan de vraag van de AEC. In dit geval is er sprake van underflow. Wanneer er sprake is van underflow zijn er twee mogelijkheden.
 - a. Er is voorraad op TOP beschikbaar. In dit geval wordt afval teruggehaald van TOP en verbrand in de AEC. Wanneer er niet genoeg voorraad is op TOP is er sprake van een tekort.
 - b. Er is geen voorraad op TOP beschikbaar. In dit geval is er ook sprake van een tekort.

Aan het eind van elke iteratie wordt TOP leeggemaakt. Het afval wat gedurende de iteratie opgeslagen is op TOP wordt dan extern afgevoerd. Afvoer kan dus plaatsvinden tijdens een iteratie maar ook aan het eind van elke iteratie om TOP te legen.

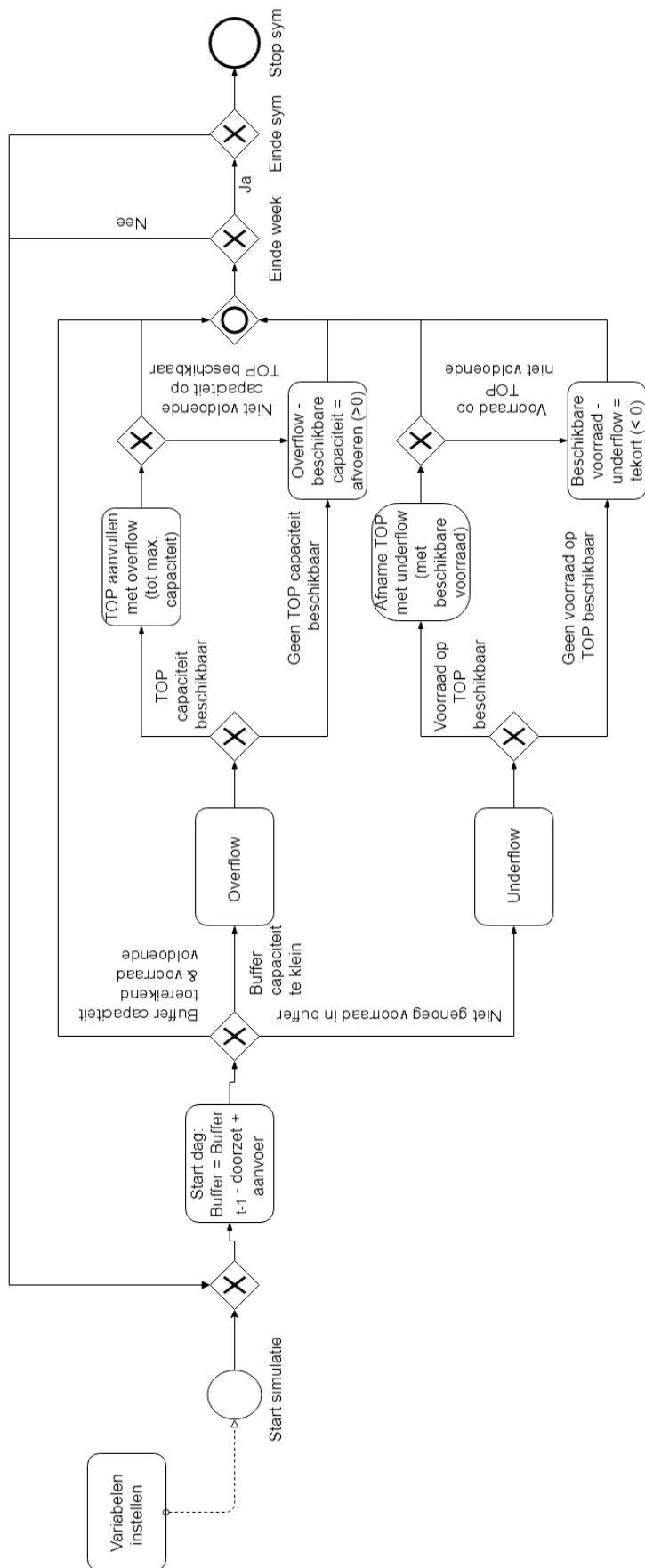
Wanneer alle dagen van 25 weken zijn doorlopen is één iteratie van de simulatie voltooid. Na elke iteratie wordt de gemiddelde aanvoer en bufferinhoud berekend. De totale overflow, underflow, afgevoerde hoeveelheid en tekort worden berekend. Daarnaast wordt de TOP inhoud aan het eind van de iteratie bepaald. Na alle iteraties wordt het gemiddelde genomen van de bovengenoemde waarden. Deze waarden worden gebruikt om de totale kosten te berekenen.

Als extra controle worden ook per iteratie de kosten berekend. Wanneer beide waarden voor de totale kosten hetzelfde zijn klopt de berekening. Daarnaast zijn de totale kosten per iteratie nodig om de betrouwbaarheidsinterval en de relatieve fout per simulatie te bepalen.

5.2.1 AANNAMES

Er zijn verschillende aannames gedaan om het simulatiemodel te ontwikkelen omdat niet alle gegevens bekend waren. Eén van de aannames die gedaan is, is dat de TOP aan het eind van elke cyclus van 25 weken leeg gemaakt wordt. Dit heet een grote invloed op de resultaten, wat te zien is in paragraaf 5.2

over de output. Toch is hiervoor gekozen omdat Twence de doelstelling heeft terug te gaan naar een zo klein mogelijke TOP. Daarnaast mag afval maximaal drie jaar opgeslagen worden op TOP, uiteindelijk moet dus elke drie jaar TOP verversst worden. Om te voorkomen dat de kosten voor het verversen van TOP vooruit geschoven worden zijn deze geïnccludeerd in het model door aan het eind van elke cyclus TOP te legen.



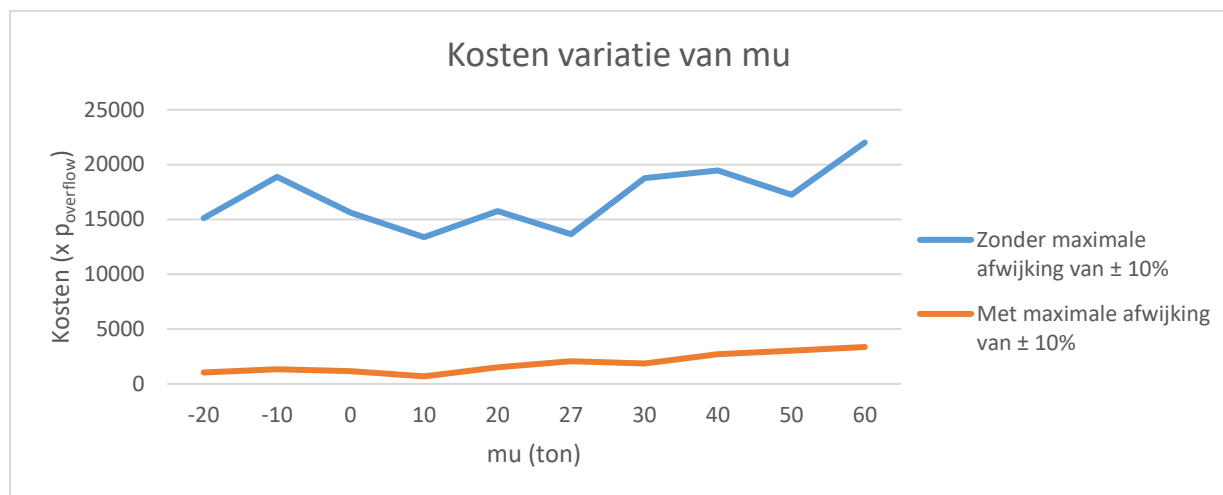
Figuur 5-1 Schematische weergave model

5.3 SCENARIO'S EN DE ANALYSES

In deze paragraaf worden verschillende variabelen met elkaar vergeleken op basis van de totale kosten over 25 weken.

5.3.1 VARIATIE VAN HET GEMIDDELDE (μ)

In Figuur 5-2 zijn de totale kosten in 25 weken uitgezet tegen verschillende waarden voor μ . Het gemiddelde van de standaardverdeling varieert van - 20 ton per dag tot + 60 ton per dag. Dit is de afwijking van de geplande doorzet. Het is dus mogelijk om gemiddeld minder of meer dan de geplande doorzet te leveren.

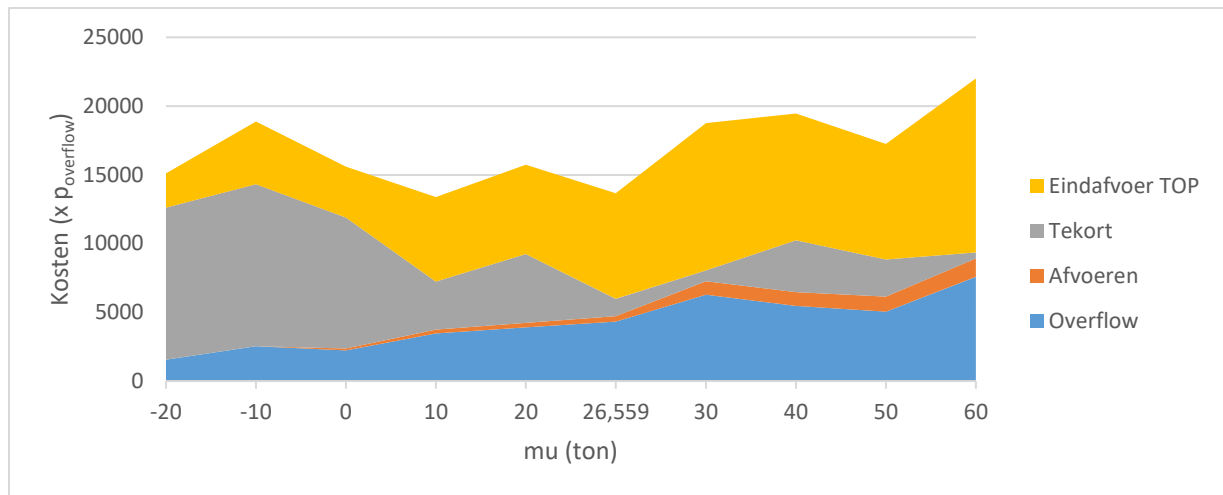


FIGUUR 5-2 KOSTEN BIJ VARIATIE VAN μ

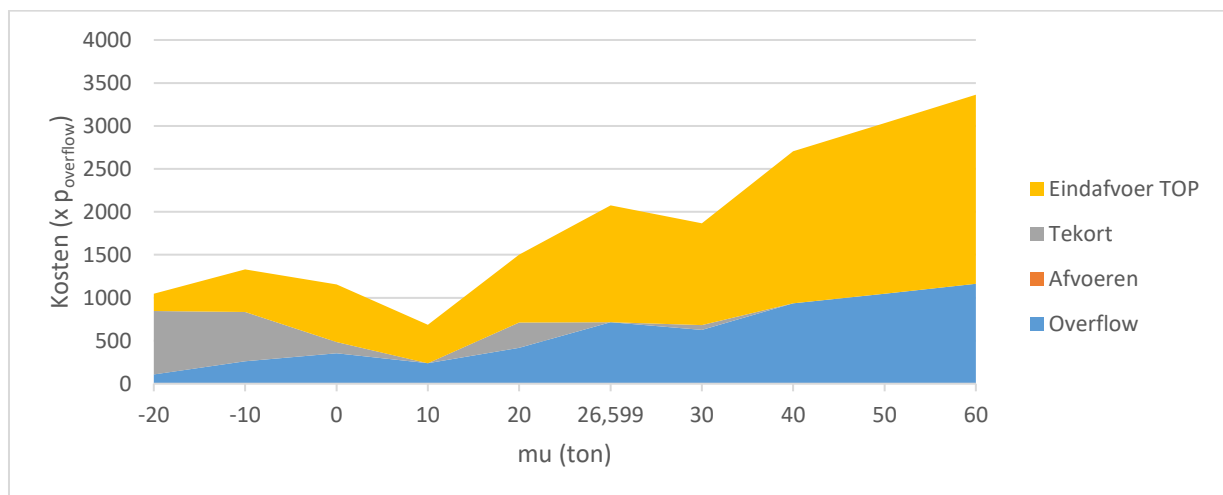
Wanneer de leveranciersrestrictie van maximaal 10% afwijking van de gecontracteerde hoeveelheid in acht wordt genomen zijn de totale kosten lager dan wanneer dat niet gedaan wordt. Zonder leveranciersrestrictie zijn de hoogste totale kosten bij een μ van 60 met 22009 p_{overflow} en de laagste kosten bij een μ van 10 met 13380 p_{overflow} . Met leveranciersrestrictie worden de laagste kosten gevonden bij een μ van 10 met 687 p_{overflow} . Met leveranciersrestrictie zijn de hoogste totale kosten bij een μ van 60 met .

In Figuur 5-3 en Figuur 5-4 is te zien dat een groot gedeelte van de kosten bestaat uit de eindafvoer van TOP. Wanneer μ stijgt, dalen de kosten door tekort maar nemen de kosten van eindafvoer toe. Wanneer het opgeslagen afval van TOP in de reguliere stroom verwerkt kan worden levert dit lagere kosten op. In beide figuren is te zien dat bij een μ hoger dan 27 de kosten zonder eindafvoer weinig stijgen. Wanneer de kosten voor de eindafvoer van TOP niet meegenomen worden zijn de laagste kosten bij de simulatie zonder leveranciersrestrictie bij een μ van 27 met 5987 p_{overflow} . Met leveranciersrestrictie, zonder eindafvoer van TOP zijn de laagste kosten bij een μ van 10 met 237 p_{overflow} .

De relatieve fout van de simulatie zonder leveranciersrestrictie is gemiddeld 23% en de relatieve fout van de simulatie met leveranciersrestrictie is 55%. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt doordat de variantie van de simulatie met leveranciersrestrictie een factor 10 kleiner is, waardoor de verschillen in het gemiddelde een grotere rol spelen. Alle betrouwbaarheidsintervallen zijn te zien in Appendix F.



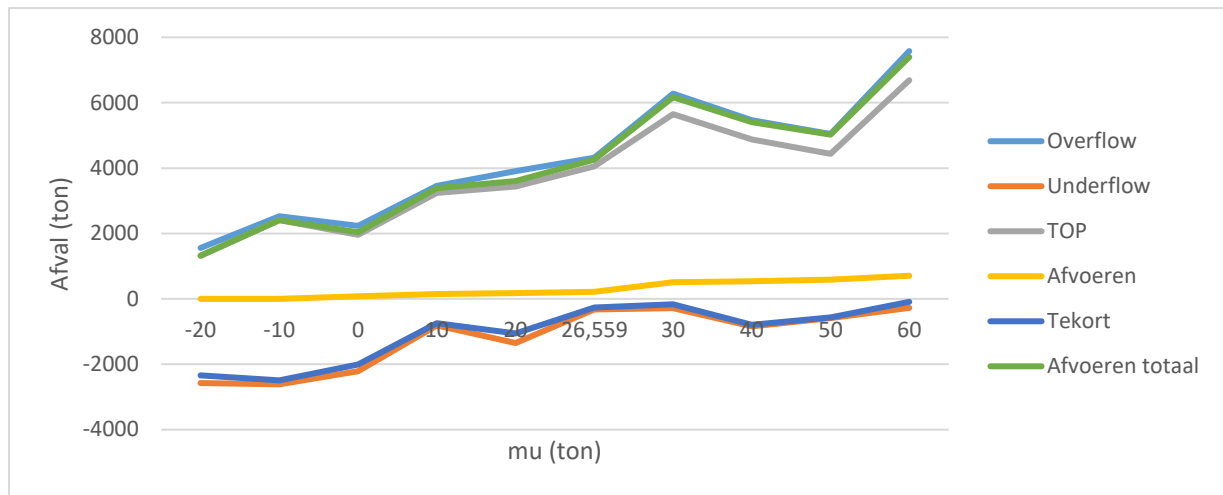
FIGUUR 5-3 OPBOUW VAN KOSTEN BIJ VARIATIE VAN μ ZONDER LEVERANCIERSRESTRICTIE



FIGUUR 5-4 OPBOUW VAN KOSTEN BIJ VARIATIE VAN μ MET LEVERANCIERSRESTRICTIE

Een tekort is per ton duurder dan een overschot aan afval, dus is de verwachting dat de laagste kosten bij een positieve μ zouden zijn. Beide simulaties voldoen aan deze verwachting. Wel is te zien in Figuur 5-5 dat de hoeveelheid afval die naar TOP gaat bij een hogere μ stijgt. De hoeveelheid top die aan het eind van elke iteratie overblijft moet ook worden afgevoerd.

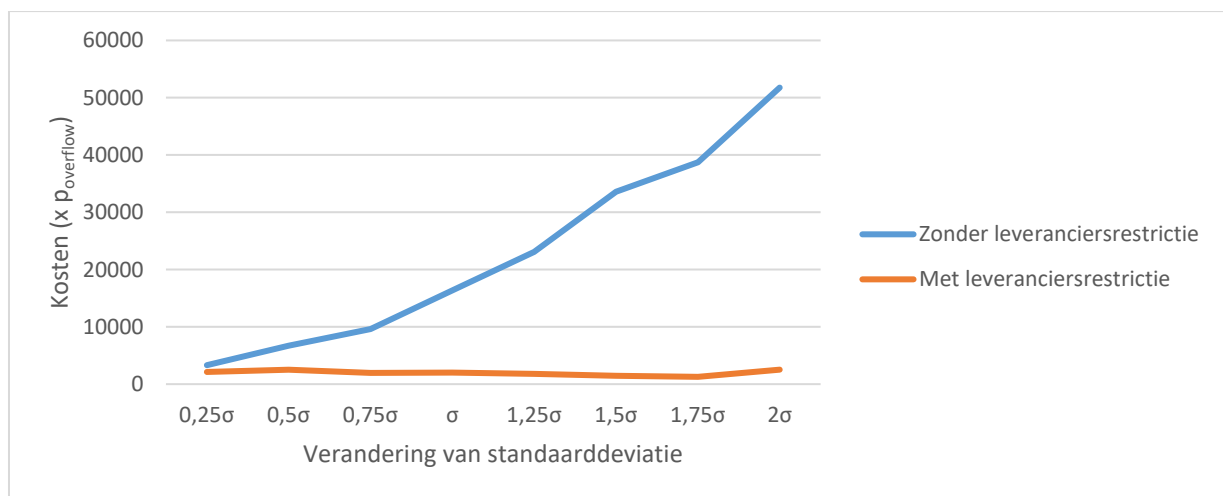
Tijdens een iteratie kunnen de buffer en TOP al vol raken. Wanneer dit het geval is moet afval afgevoerd worden. Wanneer μ stijgt neemt de kans hierop toe en stijgt de hoeveelheid afgevoerd afval. Afvoeren totaal bestaat uit 'afvoeren' en 'TOP'. Afvoeren is het afval dat tijdens een iteratie afgevoerd moet worden omdat de buffer en TOP vol zitten. Daarnaast wordt aan het eind van elke iteratie de inhoud van TOP afgevoerd. De lijn 'TOP' laat zien dat de hoeveelheid afval in TOP toeneemt en laat daarmee gelijk zien hoeveel afval aan het eind van een iteratie afgevoerd moet worden uit TOP.



FIGUUR 5-5 MASSASTROMEN BIJ VARIANTIE VAN μ ZONDER LEVERANCIERSRESTRICTIE

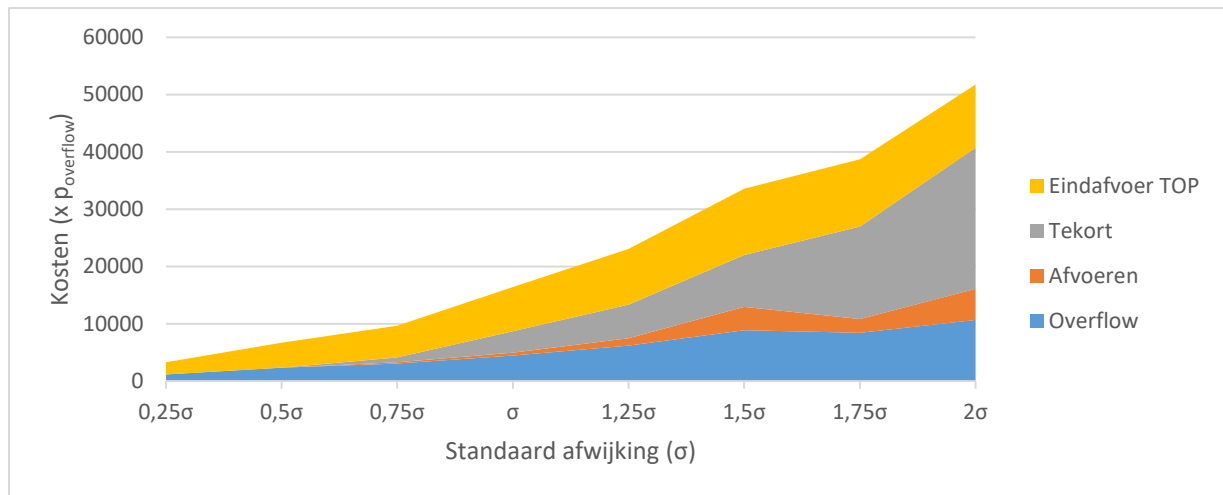
5.3.2 VARIATIE VAN DE STANDAARDDEVIATIE

In Figuur 5-6 zijn de totale kosten in 25 weken uitgezet tegen verschillende standaarddeviaties. De standaarddeviatie van de gevonden verdeling is 596.34 en varieert van $\frac{1}{4}\sigma$ tot 2σ in de simulatie. Zonder leveranciersrestrictie nemen de totale kosten toe van 3314 p_{overflow} tot 51764 p_{overflow} 25 weken. Met maximale afwijking van 10% zijn de laagste kosten te vinden bij $1,75\sigma$ met 1280 p_{overflow} en de hoogste kosten bij 2σ met 2532 p_{overflow} .

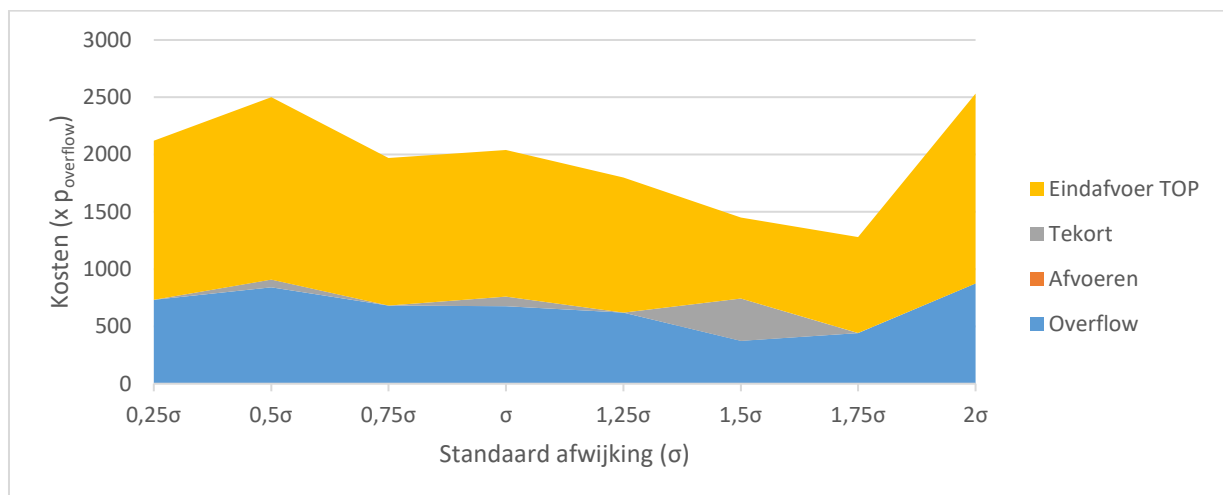


FIGUUR 5-6 KOSTEN BIJ VERANDERING VAN STANDAARDDEVIATIE

De resultaten laten zien dat bij de simulatie zonder leveranciersrestrictie de kosten toenemen bij een stijgende variantie. Grotere variatie zorgt voor meer fluctuatie en dus een grotere hoeveelheid afval op TOP en een grotere kans op een tekort. Met leveranciersrestrictie zijn de kosten redelijk constant. De lagere kosten bij een hogere standaarddeviatie worden waarschijnlijk veroorzaakt door onnauwkeurigheid in het model. De relatieve fout bij $1,75\sigma$ en $1,5\sigma$ bedraagt ruim 50% terwijl de rest van de waarden tussen de 35% en 42% ligt.



FIGUUR 5-7 OPBOUW VAN KOSTEN BIJ VARIATIE VAN STANDAARDDEVIATIE ZONDER LEVERANCIERSRESTRICHTIE

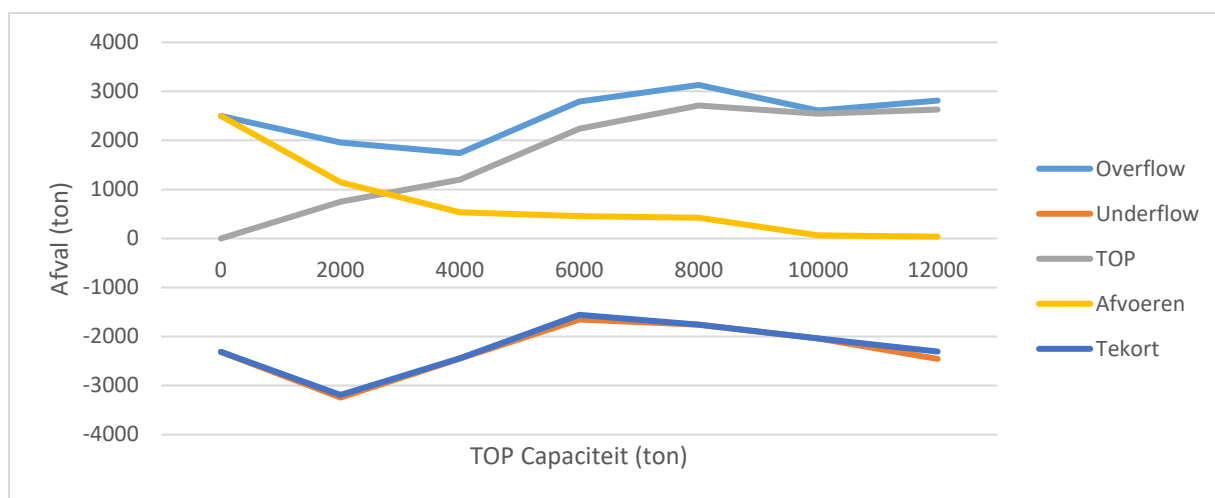


FIGUUR 5-8 OPBOUW VAN KOSTEN BIJ VARIATIE VAN STANDAARDDEVIATIE MET LEVERANCIERSRESTRICHTIE

Ook bij deze simulatie is te zien dat een groot gedeelte van de kosten wordt veroorzaakt door de eindafvoer van TOP.

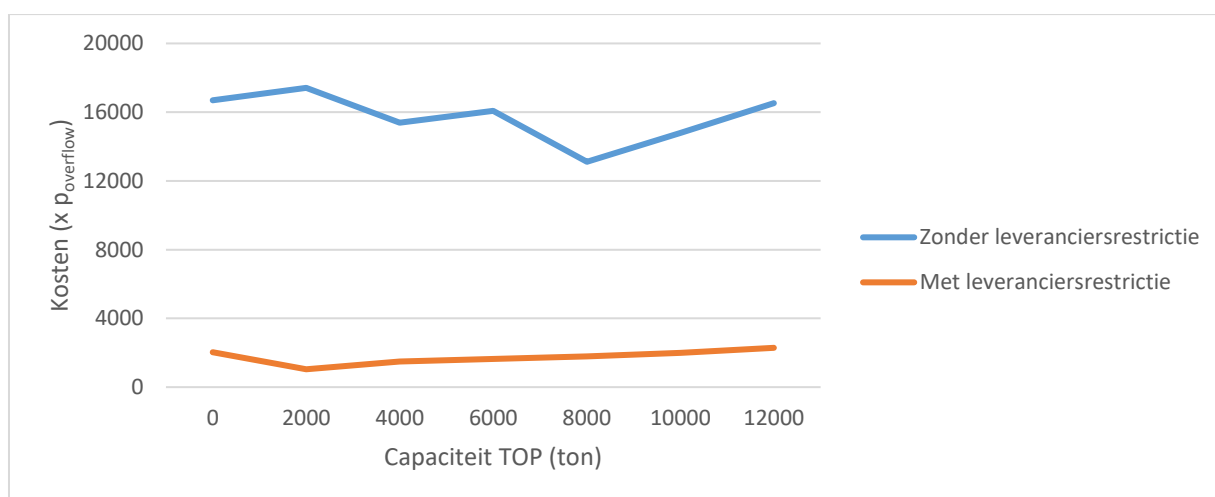
5.3.3 VARIATIE VAN CAPACITEIT TOP

Bij een lage capaciteit van TOP wordt het merendeel van de kosten veroorzaakt door het afvoeren van overtollig afval. Bij een grote capaciteit van TOP wordt het grootste gedeelte van de kosten veroorzaakt door de afvoer van het afval wat in TOP ligt opgeslagen aan het eind van de cyclus. In Figuur 5-9 is te zien hoe de verschillende massa's zich tot elkaar verhouden zonder leveranciersrestrictie.



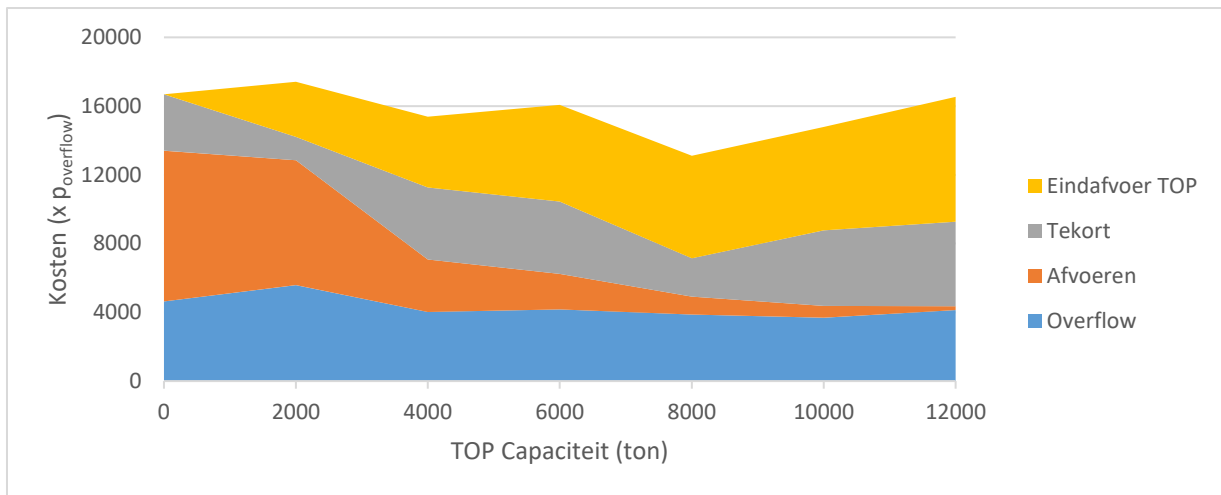
FIGUUR 5-9 TOP CAPACITEIT, ZONDER LEVERANCIERSRESTRICTIE

Zoals te zien is in Figuur 5-10 liggen de totale kosten lager wanneer de maximale afwijking wordt beperkt tot 10%. Wanneer er geen sprake is van deze beperking zijn de laagste kosten bij een capaciteit van 8000 ton 13114 p_{overflow} . Met deze beperking zijn de laagste kosten bij een capaciteit van 2000 ton met 1041 p_{overflow} .

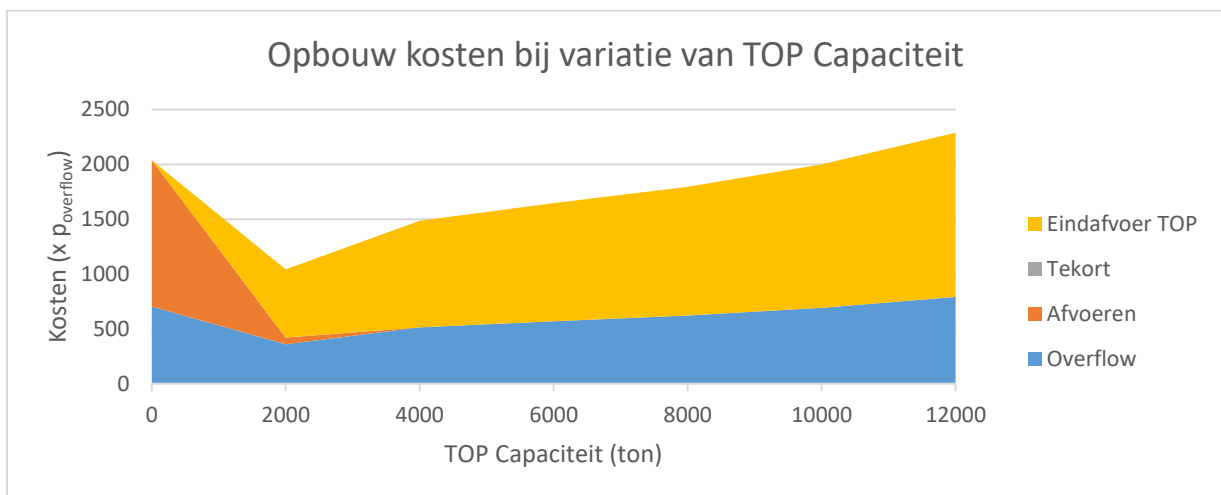


FIGUUR 5-10 KOSTEN BIJ VARIATIE VAN CAPACITEIT TOP

Uit de resultaten is af te leiden dat een kleine buffer een daling van de kosten met zich mee brengt. Met leveranciersrestrictie is een TOP-capaciteit van 2000 ton optimaal en zonder restrictie is een capaciteit van 8000 ton optimaal. Bij een grotere capaciteit stijgen de kosten. De kosten voor de grotere capaciteit worden voornamelijk veroorzaakt door het afvoeren van afval in TOP aan het eind van de cyclus van 25 weken zoals te zien is in Figuur 5-11 en Figuur 5-12.



FIGUUR 5-11 OPBOUW VAN KOSTEN BIJ VARIATIE VAN CAPACITEIT TOP ZONDER LEVERANCIERSRESTRICHTIE



FIGUUR 5-12 OPBOUW VAN KOSTEN BIJ VARIATIE VAN CAPACITEIT TOP MET LEVERANCIERSRESTRICHTIE

De relatieve fout van de verschillende iteraties bedraagt bij de simulatie zonder leveranciersrestrictie gemiddeld 23%. Bij de simulatie met leveranciersrestrictie 49%. Het verschil in relatieve fout wordt veroorzaakt doordat de variantie bij de simulatie zonder leveranciersrestrictie, net als in paragraaf 5.3.1, een factor tien hoger is. Hierdoor is het relatieve verschil tussen de gemiddelden groter waardoor de relatieve fout stijgt.

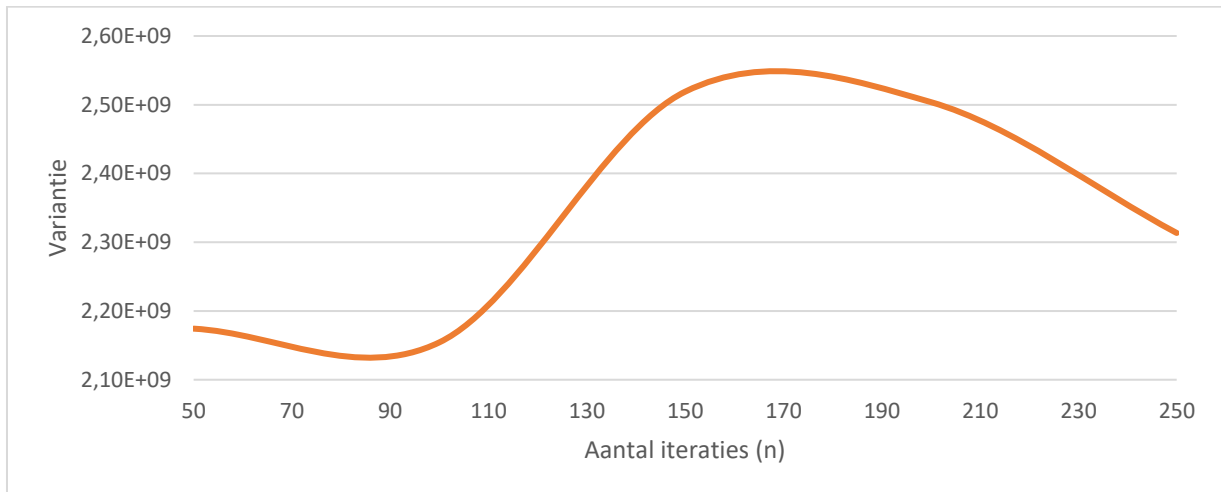
5.4 SPREIDING IN DE VARIANTIE

In Appendix F is te zien dat de relatieve fout bij alle simulaties met leveranciersrestrictie hoger is dan bij de simulaties zonder leveranciersrestrictie. Door de leveranciersrestrictie daalt de spreiding van de uitkomst waardoor de relatieve fout afneemt. De relatieve fout wordt als volgt berekend:

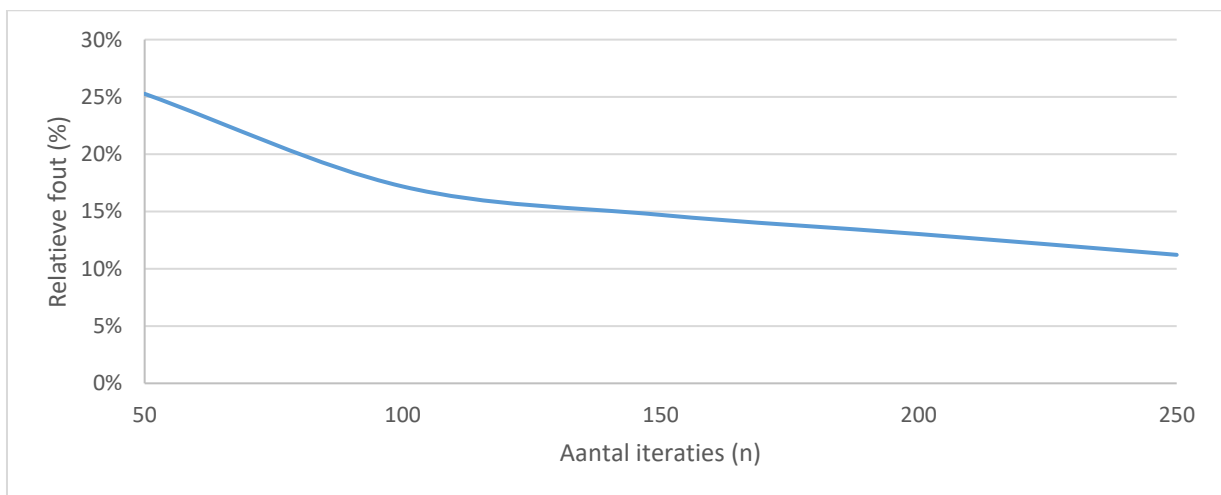
$$Relatieve\ fout = \frac{t_{n-1,\alpha} * \sqrt{\frac{var}{n}}}{\bar{x}}$$

Bij de simulaties met leveranciersrestrictie en de simulaties zonder leveranciersrestrictie is de variantie hoog. Terwijl de gemiddelde kosten van een simulatie in tonnen uitgedrukt kan worden is de variantie in de orde 10^9 en 10^{10} . Wanneer het aantal iteraties per simulatie niet hoog genoeg is kan dit resulteren

in een hoge variantie. Om te achterhalen of een hoger aantal iteraties een positieve invloed heeft op de variantie, is een experiment herhaald met een verschillend aantal iteraties. Het experiment is vijf keer gedaan met 100, 150, 200 en 250 iteraties. In Figuur 5-13 is te zien dat de variantie niet afneemt bij een groter aantal iteraties. Wel is te zien in Figuur 5-14 dat de relatieve fout afneemt. Dit is te verklaren door het hogere aantal iteraties.

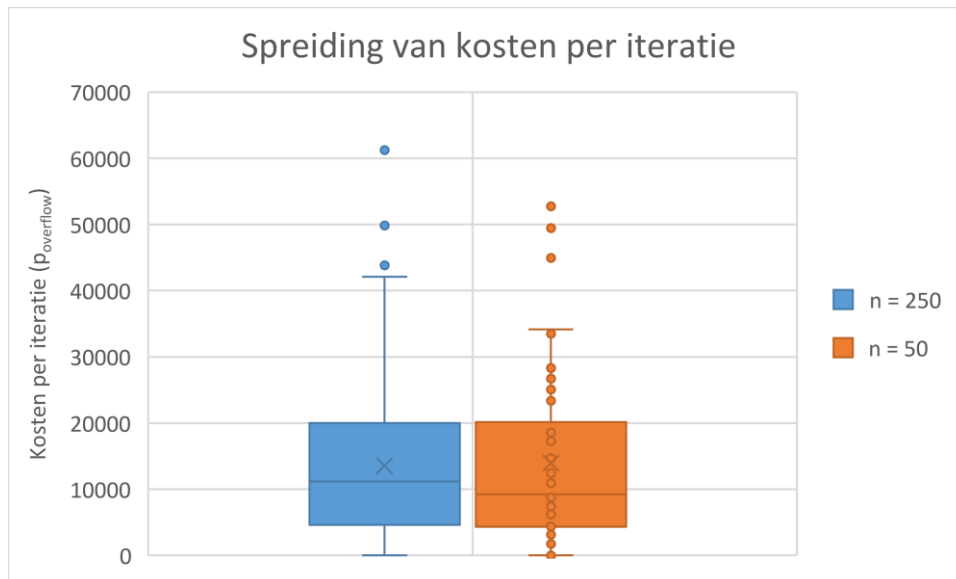


FIGUUR 5-13 VARIANTIE BIJ EEN VERSCHILLEND AANTAL ITERATIES



FIGUUR 5-14 RELATIEVE FOUT BIJ EEN VERSCHILLEND AANTAL ITERATIES

De spreiding van de uitkomsten per iteratie ligt bij 50 en bij 250 iteraties dicht bij elkaar. In Figuur 5-15 is te zien dat ongeveer de helft van de uitkomsten tussen de 5000 p_{overflow} en 20000 p_{overflow} ligt. Echter, er zijn ook een aantal uitschieters naar boven. Deze uitschieters dragen bij aan de hoge variantie.



FIGUUR 5-15 SPREIDING VAN KOSTEN PER ITERATIE

De hoge variantie is voor een groot gedeelte te wijten aan de uitschieters naar boven. Wanneer in een iteratie de leveringen meerdere dagen zodanig naar boven of naar beneden afwijken kan dit niet opgevangen kan worden. Dat resulteert in een groot tekort of overschot wat doorwerkt gedurende de looptijd en hoge kosten als gevolg heeft.

5.5 CONCLUSIE SIMULATIE

In dit hoofdstuk is antwoord gegeven op de volgende deelvragen:

Wat zijn de effecten van verschillende variabelen op de supply chain van Twence?

Welke mogelijkheden zijn er om leveranciers aan te sturen zodat de hoeveelheid grondstoffen en de timing daarvan aansluit bij de wensen van Twence?

De variabele die de grootste invloed heeft op de supply chain van Twence is het naleven van de restrictie in het contract om maximaal 10% af te wijken van de geplande hoeveelheid op dagelijkse basis. Met de leveranciersrestrictie zijn de kosten gemiddeld 90% lager dan wanneer deze restrictie er niet is, zoals in 2015. Het grootste verschil is te zien bij experimenten waarin μ varieert. De laagste kosten met leveranciersrestrictie zijn ongeveer 95% lager dan wanneer dit niet gehandhaafd wordt. Bij de variantie en TOP is dit respectievelijk 41% en 46% lager.

Zonder leveranciersrestrictie ligt het optimum bij een μ van 27, een standaarddeviatie van $0,25\sigma$ (de laagst getest waarde) en een TOP-capaciteit van 6000 ton. Met leveranciersrestrictie ligt het optimum bij een μ van -20, de afwijking van de variantie levert geen noemenswaardig verschil op en een TOP-capaciteit van 2000 ton.

De TOP-capaciteit kan dus aanzienlijk verlaagd worden ten opzichte van de huidige situatie en kan de variantie in de leveringen verlagen. Hoewel in de huidige contracten de leveranciersrestrictie niet op 10% staat, is dit wel de beste manier om de TOP-capaciteit aanzienlijk te verlagen ten opzichte van de huidige situatie en de variantie in de leveringen te verlagen.

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Met dit onderzoek is antwoord gegeven op de volgende hoofdvraag:

Waar zitten in de huidige supply chain van Twence de knelpunten en wat zijn hiervan de gevolgen?

Om te beginnen met het eerst gedeelte van de vraag: waar zitten de knelpunten. De knelpunten zitten op meerdere plekken in de supply chain maar hebben grotendeels één overkoepelend thema en dat is informatie. Veel beslissingen die gemaakt worden zijn gebaseerd op gevoel of cijfers die niet meer up-to-date zijn. Er wordt momenteel geëxperimenteerd met de opslag van brandbaar afval om de leverancier extra flexibiliteit te bieden. Hier wordt wel iets extra voor betaald, maar het is onduidelijk wat de kosten voor tijdelijke opslag daadwerkelijk zijn. Deze gegevens zouden met één druk op de knop uit SAP of Qlikview moeten rollen. Het volgende punt is dat het ook niet bekend is wat de strategische voorraad voor brandbaar afval of hout zou moeten zijn.

De kosten inzichtelijk maken voor het omleiden van afval en het op specificatie brengen van hout was niet eenvoudig te realiseren. Een nacalculatie aan de hand van orders bleek bij afval niet nauwkeurig maar aan de hand van het benodigde materieel is een goede schatting gemaakt. In 2015 koste het omleiden van afval p_{overflow} per ton. Sinds 2011 ligt ongeveer 90.000 ton afval opgeslagen, waarvan jaarlijks een derde ververs moet worden. Het omleiden van afval koste Twence per week ruim 680 p_{overflow} .

De overflow wordt voor een groot gedeelte veroorzaakt door onregelmatigheden in de leveringen. De afwijking van de geplande hoeveelheid per dag in 2015 is normaal verdeeld met een μ van 26,6 en een standaarddeviatie van 595,34 ton. Het simulatiemodel is ontworpen om de effecten van verschillende variabelen te analyseren en te evalueren met en zonder een leveranciersrestrictie van 10%. In het model dat gemaakt is wordt de invloed van verschillende variabelen getest op de kosten over een periode van 25 weken. Het grootste verschil wordt echter veroorzaakt door het aanhouden van de leveranciersrestrictie voor leveranciers om maximaal 10% meer of minder te leveren van de geplande capaciteit. In 2015 was er geen sprake van een leveranciersrestrictie. Echter, in het model laat een leveranciersrestrictie van 10% een reductie van de kosten zien van ongeveer 60% ten opzichte van wanneer die leveranciersrestrictie niet gehandhaafd wordt.

Met en zonder leveranciersrestrictie kan volgens de simulatie experimenten de capaciteit van TOP aanzienlijk teruggeschoefd worden. Momenteel is de tijdelijke opslag van brandbaar afval ongeveer 90.000 ton. Een optimum ligt onder de 6.000 ton. De variantie had bij de berekeningen met leveranciersrestrictie weinig invloed want de maximale afwijking op dagelijkse basis werd beperkt tot maximaal 10% van de geplande hoeveelheid afval. Een lagere variantie zorgde bij de berekeningen zonder leveranciersrestrictie voor lagere kosten. Ook lieten de berekeningen zien dat wanneer er gemiddeld 27 ton per dag meer geleverd wordt de kosten het laagst zijn zonder leveranciersrestrictie. Met deze leveranciersrestrictie zijn de laagste kosten berekend wanneer er dagelijks gemiddeld 20 ton minder geleverd wordt dan gepland. In het optimale geval, met de leveranciersrestrictie van maximaal 10% afwijking van de geplande hoeveelheid, wordt er gestuurd op 20 ton minder dan gepland, blijft de variantie hetzelfde en wordt TOP teruggebracht naar 2000 ton. Dit zorgt over een periode van 25 weken voor gemiddelde kosten van 170 p_{overflow} per week. Dit is dus een reductie van 75% ten opzichte van de huidige situatie. Het risico op afvoeren wordt hiermee verminderd maar het gevolg hiervan is dat de

AEC niet altijd op 100% capaciteit draait. Hierdoor is de opbrengst door aannemen en verbranden van afval lager, maar de kosten voor het afvoeren van afval zijn ook aanzienlijk lager.

Naast afval ligt op het terrein van Twence veel hout opgeslagen. Dit is zelf op specificatie gebracht hout. Het op specificatie brengen van hout werd voordeliger geacht dan hout op specificatie bestellen. Na het bereken van de kosten aan de hand van orders bleek dat in 2014 en 2015 hout op specificatie brengen duurder was dan het op specificatie bestellen. Zelf op specificatie brengen was $0.126 p_{\text{hout}}$ per ton duurder. Dit is het negatieve effect van vocht en degradatie op de calorische waarde van hout tijdens opslag. Dit zal het verschil groter maken. Vanuit financieel oogpunt was het in 2015 niet rendabel om hout zelf op specificatie te brengen. Het reduceren van de hoeveelheid hout op het terrein zal een daling van de kosten met zich mee brengen door een kleiner aantal transportbewegingen en een verlaging van de transportafstanden. Als de voorraad zodanig is dat deze op de houtbank past, zal de kwaliteit van het hout minder ver afnemen. Daarnaast is er dan geen kieper meer nodig wat de kosten voor het breken verlaagt. Een optimale voorraad hout is een voorraad die op de houtbank past en dus lager is dan 15.000 ton.

7 BIBLIOGRAFIE

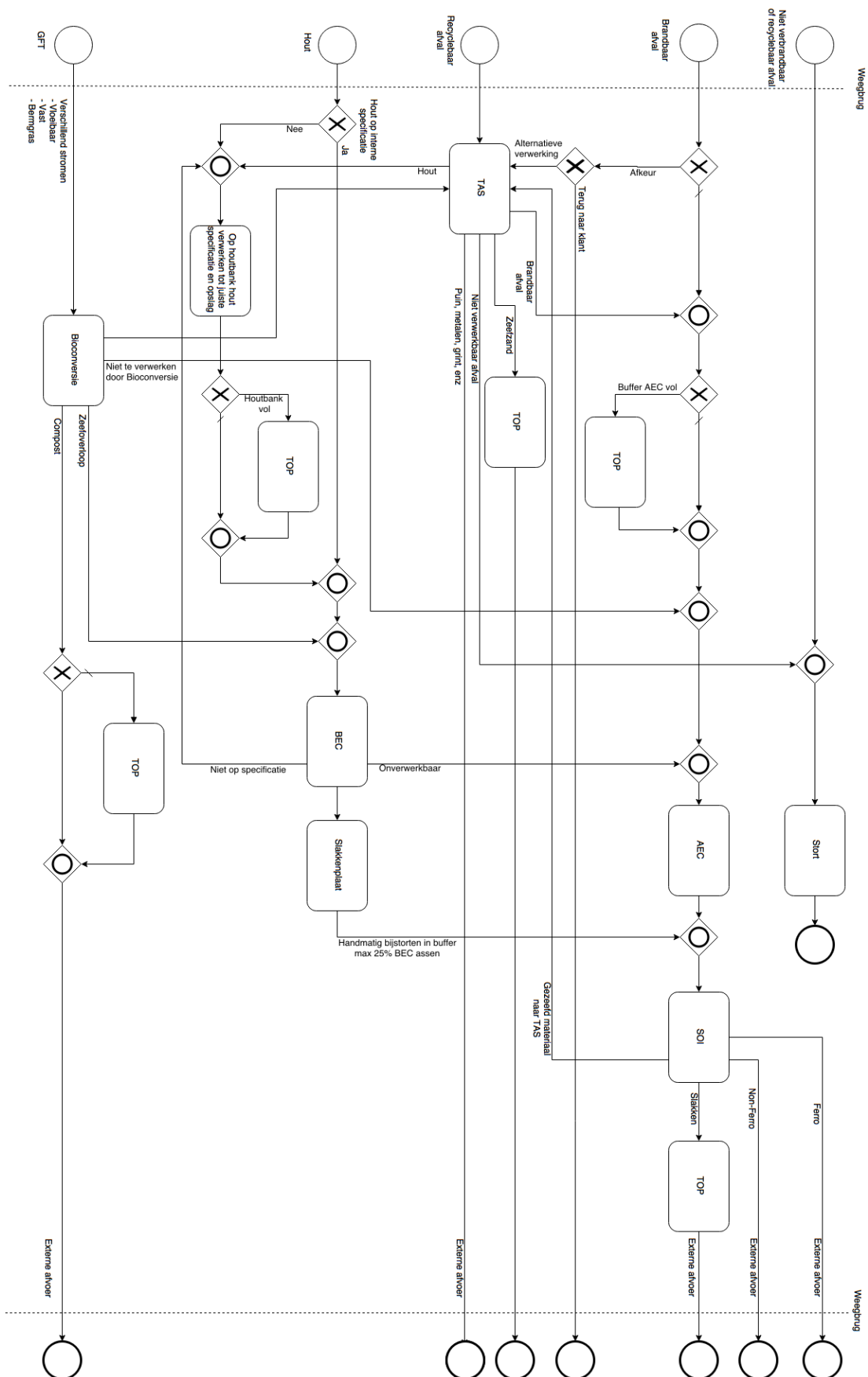
- Heerkens, H., & Winden, A. v. (2012). *Geen probleem: Een aanpak voor alle bedrijfskundige vragen en mysterieis*. Buren: Business School Nederland.
- Lambert, D. M., & C., C. M. (2000). Issues in Supply Chian Managemend. *Industrial Marketing Management*, 65-83.
- Natarajan, R., & Goyal, S. (1994). Safety stocks in JIT environments. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(10), 6471.
- Pidd, M. (2002). Simulation Software and Model Reuse: A Polemic. (E. Yücesan, C. Chen, J. Snowdon, & J. Charnes, Red.) *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, 772-775.
- Rijkswaterstaat . (2016, 04 12). *Welke categorieën bouwstoffen kent het Besluit bodemkwaliteit?*
Opgehaald van Rijkswaterstaat Leefomgeving:
<http://www.rwsleefomgeving.nl/onderwerpen/bodem-ondergrond/bbk/vragen/bouwstoffen-algemeen/faq/welke-categorieen/>
- Twence B.V. (2009). *Milieujaarverslag 2008*. Opgehaald van
<http://www.milieujaarverslag.com/twence/>
- Twence B.V. (2015). *Financieel Jaarverslag 2014*. Opgehaald van <http://www.twence.nl/Twence/Over-ons.html>
- Twence B.V. (2015). *Publieksjaarverslag 2014*. Opgehaald van <http://www.twence.nl/Twence/Over-ons.html>
- Weske, M. (2012). *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Berlin: Springer .
- Winston, W. L. (2004). *Operations Research; applications and algorithms*. Belmont, CA: Thomson/Brooks/Cole.

APPENDICES

APPENDIX A – AFKORTINGEN

AEC	Afvalenergiecentrale
BC	Bioconversie
BC	Bioconversie installatie
BEC	Biomassa-energiecentrale
Entiteit	Duid een van de afval/grond stoffen aan waarmee Twence werkt. Bijvoorbeeld afval of bodemassen
M&S	Marketing & Sales
Overflow	Wanneer er meer afval binnenkomt dan de behoefte van de AEC moet dit omgeleid worden. Dat is overflow.
TAS	Twentse Afvalscheiding
TOP	Tijdelijke Opslag Plek, verschillende locaties op het terrein waar tijdelijke opslag plaatsvindt. Over het algemeen boven op een stortheuvel.
Verkitten	Het samenklonten van bodemassen tot een harde massa.

APPENDIX B – INTERNE LOGISTIEK



APPENDIX C – CIJFERS BRANDBAAR AFVAL

Order	Artikel	Tekst Bestelling	Tekst Document
300880 Stortwal BH		Onderbouwing toepassing AEC bodemas	
	Totaal		
4018600 STORT; verwerken afval		4018600 STORT; afval (kraan shovel)	4018600 STORT, afval (kraan shovel)
			Kraan rups HGM 19 tot 23 ton
			Shovel 18 ton CASE
			Shovel HGM 23 tot 27 ton
			Trekker + bezem
			Uren - Machinist 100%
			Uren 100%
			Correctie vegen
	Totaal		
4018614 STORT (alg); Papier rapen		4018614 STORT; alg wegen papier	4018614 STORT, alg wegen papier
			Kraan 15-21 ton met sorteerklem
			Kraan 23 tot 27 ton
			Kraan rups HGM 19 tot 23 ton
			Shovel 18 ton CASE
			Shovel 18 ton met Hoogkiepbak CASE
			Shovel 18 ton met sorteergriper
			Shovel HGM 23 tot 27 ton
			Sorteerkraan
			Tractor + containercarrier of werktuig
			Trekker + bezem
			Trekker + Tank 8000 ltr.
			Uren - Machinist 100%
			Wals
		Intern Logistiek Houtbank	Trekker + bezem
			Trekker + Tank 8000 ltr.
			Uren - Machinist 100%
		Intern Logistiek TAS / Stort	Dumper Volvo
			Intern Logistiek TAS / Stort
			Kraan 15-21 ton met sorteerklem
			Kraan HGM 13-16 ton
			Kraan rups HGM 19 tot 23 ton
			Shovel 18 ton CASE
			Shovel 18 ton met Hoogkiepbak CASE
			Trekker + bezem
			Trekker + Tank 8000 ltr.
			Uren - Machinist 100%
			Correctie papier rape
			Correctie papier rapen
			Correctie sproeien wegen
			Correctie vegen
			Correctie vegen wegen
	Totaal		oosterveld wk 20 correctie