

Uit de toon, maar op de maat

*Een efficiënte indeling voor het pianomagazijn van
Music Network Center*



S.M. Winkelhuis
Bachelor Thesis, Universiteit Twente
Bedrijfskunde

Uit de toon, maar op de maat

*Een efficiënte indeling voor het pianomagazijn van
Music Network Center*

Augustus 2013

Auteur:

Silvia Maria Winkelhuis
Studentnummer 0216690

Uitgevoerd bij:

Music Network Center B.V.
Haaksbergen
Mevr. A.A.W. Eijnsink-Temmink

**Universiteit Twente, Enschede
Faculteit Management en Bestuur**

1^e Begeleider: Dr. P.C. Schuur

2^e Begeleider: Ir. H. Kroon

Managementsamenvatting

Music Network Center is een transportbedrijf dat het vervoer van nieuwe akoestische piano's en vleugels verzorgt. Het bedrijf is gevestigd in Haaksbergen, Overijssel en beschikt daar sinds kort over een nieuw pand. Music Network Center haalt wekelijks instrumenten af bij pianoproducenten en vervoert deze vervolgens naar het eigen magazijn in Haaksbergen. Hier worden de instrumenten uitgeladen en in het magazijn geplaatst, alvorens ze weer worden ingeladen voor de uitlevering aan eindklanten in België, Nederland en Luxemburg. Bij de plaatsing in het magazijn worden de instrumenten voor hetzelfde land veelal bij elkaar geplaatst. Echter zorgt deze methode voor de nodige problemen, omdat er hierbij geen rekening gehouden wordt met de verblijfsduur van de instrumenten. Hierdoor kunnen instrumenten beknelde staan achter instrumenten die later worden uitgeleverd. Daarnaast leidt de huidige opslagmethode tot een inefficiënt gebruik van de magazijnruimte: rond het I/O punt staan veel instrumenten en achterin het magazijn bijna geen. Dit zorgt tijdens drukke periodes voor het dichtslippen van gangpaden, waardoor sommige instrumenten moeilijk te bereiken zijn. De voornaamste oorzaak van deze problematiek is het inadequate allocatiesysteem dat gehanteerd wordt binnen het magazijn van Music Network Center. Het doel van dit onderzoek is het vinden van een efficiënte indeling voor de nieuwe magazijnruimte, die de genoemde problemen in de toekomst moet voorkomen. De onderzoeksvraag luidt dan ook: *Op welke wijze dient het nieuwe pianomagazijn van Music Network Center te worden ingedeeld, zodat de te verwachten logistieke stromen zo efficiënt mogelijk worden afgehandeld?*

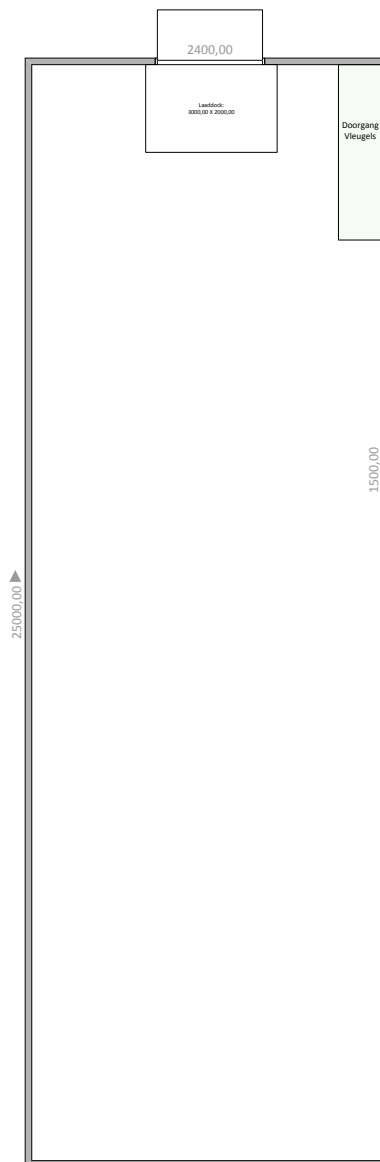
Om deze vraag te kunnen beantwoorden is gekeken naar mogelijke ontwerpen voor de layout van het nieuwe pianomagazijn (figuur 1.1). Hierbij dient er allereerst rekening gehouden te worden met de fysieke kenmerken van het pianomagazijn en kenmerken van het logistieke proces. Hierbij heeft de positie van het I/O punt in hoge mate de oplossing gedicteerd. Ook de beperkingen voor material handling spelen een belangrijke rol bij het ontwerpen van een nieuwe indeling; de instrumenten kunnen slechts vanuit één kant worden opgepakt, kunnen niet gestapeld of gedemonteerd worden en zijn daarnaast erg gevoelig voor schades.

De nieuwe indeling van het magazijn heeft als algemeen uitgangspunt het minimaliseren van het aantal handelingen, met inachtneming van de randvoorwaarden *bereikbaarheid, veiligheid, tijd* en *ruimte*, waardoor de kans op schades geminimaliseerd wordt. Het is daarbij wenselijk om een indelingsmethode toe te passen die rekening houdt met de verblijfsduur van de instrumenten, omdat dit kenmerkend is voor het gehele logistieke proces. Er is daarom gekozen voor een ABC-indeling, gebaseerd op de mogelijke scenario's voor een binnenkomend instrument (fast-movers, unknown-movers en slow-movers). Deze onderverdeling is vervolgens toegepast binnen drie verschillende ontwerpen.

Bij de eerste indelingsoptie is er op basis van dedicated storage een indeling gepresenteerd, waarbij de instrumenten vooraf geclassificeerd worden op basis van hun duration of stay: Fast-movers (A), Unknown-movers (B) en Slow-movers (C). Voor elk van deze klassen is een vaste ruimte gereserveerd, waarbinnen de instrumenten op basis van family grouping geplaatst worden. Deze indeling resulteerde in een afname van de bereikbaarheid en veiligheid door het gebruik van vaste locaties. Bij de tweede indelingsoptie wordt de bereikbaarheid van ieder individueel instrument gemaximaliseerd. Alle instrumenten zijn bereikbaar ongeacht waar en wanneer ze geplaatst zijn. Hierbij wordt er dezelfde onderverdeling in klassen gemaakt als bij de eerste indelingsoptie en is er ook sprake van vaste locaties voor deze klassen (*dedicated storage*). Het grote nadeel van deze indeling is dat er voor ieder instrument veel ruimte nodig is om het te plaatsen of verplaatsen. Hierdoor kunnen er slechts 36 instrumenten in het magazijn worden geplaatst, waar de eerste indelingsoptie ruimte bood aan 84 instrumenten. Daarnaast zijn er veel draaiingen nodig om de instrumenten op de juiste manier tegenover elkaar te plaatsen. De maximale bereikbaarheid van de instrumenten binnen deze indelingsoptie weegt niet op tegen het inefficiënte gebruik van ruimte. Bij de derde indelingsoptie wordt de magazijnruimte efficiënt benut en de bereikbaarheid van de instrumenten geoptimaliseerd. Door gebruik te maken van shared storage voor de A en B-klasse

instrumenten ontstaat er een flexibel allocatiesysteem. Er zal een vaste locatie (dedicated storage) gereserveerd worden voor C-klasse instrumenten. Binnen de verschillende locaties zal gebruik gemaakt worden van 'family grouping', waardoor de indeling verder geoptimaliseerd wordt. De ruimte voor A en B-klasse instrumenten wordt gedeeld, waardoor de magazijnruimte efficiënter benut wordt. Daarnaast resulteert het delen van ruimte ertoe dat er minder onproductieve handelingen plaats vinden.

Deze laatste indeling is gekozen als de indeling die het beste past bij het magazijn, de activiteiten en de werkwijze van Music Network Center. Voor de implementatie van de indeling zal het magazijn aangestuurd worden door de planner. Deze bepaalt op basis van de planning welke klasse een bepaald instrument krijgt. Op de lange termijn en bij uitbreiding van de activiteiten kan dit proces geautomatiseerd worden met behulp van WMS.



Figuur 1.1. Pianomagazijn Music Network Center

Voorwoord

Voor u ligt het resultaat van het onderzoek dat ik uitgevoerd heb ter afsluiting van de bachelor Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente te Enschede. Hiervoor heb ik een onderzoek uitgevoerd bij Music Network Center B.V. te Haaksbergen.

De periode tijdens het onderzoek is op zijn zachts gezegd 'rustig' verlopen. De klok begon te tikken om nog tijdig mijn bachelorfase af te ronden om in september 2013 met de Master Business Administration te kunnen beginnen. Deze tijdsdruk heeft voor de nodige stress gezorgd, maar was een goede stimulans om door te zetten. Naast mijn fulltime baan en sociale leven - waar de laatste weken weinig meer van over was – was het een behoorlijke uitdaging om mijn onderzoek af te ronden. Dit onderzoek is dan ook niet alleen inhoudelijk, maar ook voor mij persoonlijk een ware 'eye opener' geweest.

Ik ben een aantal mensen dan ook erg dankbaar dat zij mij gesteund en gemotiveerd hebben, op welke manier dan ook. In de eerste plaats wil ik graag Peter Schuur bedanken voor zijn begeleiding en motivatie, maar met name voor zijn geduld en vertrouwen in mij, op de momenten dat ik dit zelf niet meer had.

Ook wil ik graag Willem-Wouter bedanken voor zijn geduld en begrip tijdens de vele momenten waarop ik in gevecht was met mezelf en het onderzoek. Graag wil ik mijn ouders Frans en Wilma, mijn zussen Ilona, Mariska en Tamara bedanken voor hun inhoudelijke en mentale bijdrage. Zij hebben mij gedurende het gehele onderzoek – ieder op geheel eigen wijze - gestimuleerd en gemotiveerd. Ook wil ik mijn medestudenten Nienke en Rutger bedanken voor hun praktische adviezen, steun en motivatie. De werknemers van Music Network Center wil ik hartelijk bedanken voor hun bijdrage en medewerking tijdens mijn onderzoek.

Tot slot wil ik Agnes ontzettend bedanken voor haar steun en begrip tijdens mijn gehele onderzoek. Ik heb van haar alle tijd en ruimte gekregen om deze opdracht tot een goed einde te kunnen brengen.

Het voltooiën van dit onderzoek is voor mij weer een stapje hoger op de ladder die nog vele treden kent.

Silvia Winkelhuis

Haaksbergen, augustus 2013

Inhoud

Managementsamenvatting	ii
Voorwoord	iv
Hoofdstuk 1: Inleiding	1
1.1 Organisatieomschrijving	1
1.2 <i>Vertrouwelijk</i>	1
1.3 Doel- en probleemstelling	2
1.4 Onderzoeksvragen.....	5
1.5. Onderzoeksozet.....	5
Hoofdstuk 2. Huidige situatie.....	7
2.1. Planningsproces.....	7
2.2. Logistiek Proces	9
2.3. Besturingssysteem en bestuurd systeem.....	6
2.4. Material handling	7
Hoofdstuk 3: Theoretisch kader	17
3.1. Layout Design	17
3.1.1. Lay-out structuur	17
3.1.2. Blockstacking	18
3.1.3. Order picking	18
3.1.4. Forward and reserve area	18
3.2. Storage assignment policy.....	19
3.2.1. Shared Storage en Duration of Stay	11
3.2.2. Family-grouping.....	11
3.3. Early Bag Storage (EBS).....	12
3.4. Stacking Strategieën bij Containervervoer.....	13
3.4.1. Stowage Planning	13
3.4.2. Yard optimization	14
3.5 Toepassing theoretisch kader	15
Hoofdstuk 4: Gewenste situatie	25
4.1. Uitgangspunten en Randvoorwaarden	25
4.1.1. Veiligheid	25
4.1.2. Bereikbaarheid	25
4.1.3. Tijd en Ruimte	17
4.2. Indelingsopties	26
4.3. Indelingsoptie 1	27
4.4. Indelingsoptie 2:	29
4.5. Indelingsoptie 3:	17
4.6. Indelingskeuze	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.7. Definitieve keuze	19
4.8. Implementatie	19
Hoofdstuk 5. Conclusie en Aanbevelingen	36
5.1 Aanbevolen indeling	36
5.2 Beperkingen van het onderzoek	37
Referenties	38
Bijlagen	24

Hoofdstuk 1: Inleiding

In het kader van het afsluiten van mijn de bachelorfase van mijn studie Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente te Enschede, heb ik een onderzoek uitgevoerd bij Music Network Center B.V. te Haaksbergen. Het onderzoek richt zich op het ontwerpen van een indeling voor het nieuwe pianomagazijn dat ze recent in gebruik hebben genomen. Reeds in het vorige magazijn leidde de huidige werkwijze tot problemen binnen het logistieke proces. In dit onderzoek zullen de achterliggende oorzaken van dit probleem geanalyseerd worden, waarop er een oplossing gepresenteerd wordt in de vorm van een ontwerp voor een nieuwe indeling. Hiervoor zal eerst een beschrijving worden gegeven van het bedrijf en haar activiteiten, vervolgens zullen de logistieke processen en de kenmerken hiervan uitvoerig beschreven worden. Op basis hiervan zal er een theoretisch kader gevormd worden op basis van de mogelijkheden die de literatuur biedt. Vervolgens zullen er verschillende indelingsopties gepresenteerd worden, waaruit de beste optie gekozen zal worden. Deze keuze wordt gebaseerd op de compatibiliteit met de randvoorwaarden en uitgangspunten waarbinnen de nieuwe indeling gerealiseerd dient te worden.

1.1 Organisatieomschrijving

Music Network Center is een transportbedrijf dat het vervoer van nieuwe akoestische piano's en vleugels verzorgt voor pianoproducenten. Deze instrumenten worden wekelijks afgehaald en uitgeleverd aan verschillende dealers in België, Nederland en Luxemburg.

Het bedrijf is gevestigd in Haaksbergen, Overijssel, vlak aan de Duitse grens en beschikt daar over een eigen magazijnruimte voor de opslag van de instrumenten.

Music Network Center verzorgt alle logistieke activiteiten met betrekking tot het vervoer van de piano's en vleugels en kan getypeerd worden als een 3PL dienstverlener. Dit houdt in dat naast het afhalen van de instrumenten bij de opdrachtgever en de aflevering bij de dealer, ook de planning en de administratie door Music Network Center wordt verzorgd.

Het bedrijf hanteert een focus-differentiatie strategie, waarbij de nadruk ligt op het bieden van een unieke set van producten of diensten die hoog gewaardeerd worden door de klant (Porter, 1980) en daarnaast de speciale behoeften van klanten in een bepaald segment vervuld (Gibcus & Kemp, 2003). Binnen dit kader streeft het bedrijf ernaar om het gehele logistieke proces zo efficiënt mogelijk te laten verlopen en de eindklant (dealer) zo snel en goed mogelijk te voorzien van zijn bestelde instrumenten.

1.1.1. Logistiek proces

Deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie.

1.2. Vertrouwelijk

Deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie.

1.3 Doel- en probleemstelling

Een piano of vleugel is een uiterst delicaat product dat met de nodige zorgvuldigheid dient te worden vervoerd. Ieder instrument is afgewerkt met een laklaag die zeer kwetsbaar is. Wanneer het instrument in aanraking komt met een ander instrument of met hulpmateriaal kan deze lak barsten of kunnen er krassen en deuken ontstaan. Daarnaast is het een moeilijk te hanteren product door zijn omvang, gewicht en vorm. De instrumenten zijn allemaal onverpakt en worden beschermd tegen beschadiging met een of meerdere dekens. Mede hierdoor kan het uitsluitend verplaatst worden met een speciaal aangepaste steekwagen of zogeheten pianokar¹. Het verplaatsen van een piano vereist naast een specifieke aanpak ook de nodige kracht, handigheid en concentratie.

¹ In paragraaf 2.5 'Material handling' zal hier nader op ingegaan worden.

In drukke periodes worden er veel instrumenten afgehaald en komen er veel instrumenten in het magazijn Music Network Center te staan. Alle instrumenten lijken op elkaar en dit kan resulteren in een onoverzichtelijk magazijn. Instrumenten kunnen daarnaast klem komen te staan en gangpaden kunnen dichtslippen. Hierdoor ontstaat er een grotere kans op schades en andere fouten. Daarnaast kost dit erg veel tijd en werkt het onprettig.

Om de beschreven problematiek in het nieuwe magazijn te voorkomen en de efficiëntie van het interne logistieke proces te verbeteren, is het van belang dat de achterliggende oorzaken ervan in kaart worden gebracht. Dit kan gedaan worden door een probleemkluwen op te stellen (figuur 1.3). Hiermee kunnen de onderliggende oorzaken van de problemen worden vastgesteld (Heerkens, 1998).

1.3.1.Probleemkluwen

Deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

1.3.2. Identificatie kernprobleem

Op basis van de onderlinge relaties in het probleemkluwen kan er geconcludeerd worden dat er sprake is van inefficiënte interne logistiek. De belangrijkste oorzaak die hieraan ten grondslag ligt is de inadequate wijze waarop de instrumenten een plek in het magazijn krijgen toegewezen.

1.3.3. Doelstelling

De oorzaak van de inefficiënte benutting van het magazijnoppervlak kan direct gerelateerd worden aan de lay-out en inrichting van het magazijn. Het aantal handelingen dat plaatsvindt vanaf het moment dat de vrachtwagen terug bij het magazijn komt, tot het moment dat het instrument bij de eindklant afgeleverd wordt, dient geminimaliseerd te worden.

De doelstelling van het onderzoek zal daarom de volgende zijn: *“Het verbeteren van de interne logistieke stromen van Music Network Center”*. Deze doelstelling is direct gerelateerd aan de efficiëntie van deze interne logistieke stromen en daarmee aan de indeling van het pianomagazijn van Music Network Center.

1.3.4. Afbakening onderzoek

Dit onderzoek zal afgebakend worden door zich uitsluitend te focussen op ‘de piano’ als *stock keeping unit* (SKU). De huidige problematiek heeft vooral betrekking op de piano’s en niet zozeer op de vleugels. De vleugels hebben van meet af aan een aparte plek in het magazijn, die gescheiden is van de piano’s. Dit is gedaan om de volgende redenen:

- Door zijn hoogte kan een vleugel het zicht op de overige instrumenten blokkeren.
- Een vleugel vereist een andere aanpak om deze te verplaatsen.
- Een vleugel vereist 2 personen om deze te vervoeren, waar een piano maar 1 persoon vereist.
- Een vleugel heeft erg afwijkende maten ten opzichte van een piano.
- Er worden aanzienlijk minder vleugels vervoerd dan piano’s.

Om de reden dat een vleugel erg afwijkende maten heeft en op een andere manier verplaatst wordt, zal het waarschijnlijk een nadelig effect hebben op het vinden van een efficiënte lay-out, wanneer er rekening gehouden moet worden met deze afwijkende SKU. Deze redenen zijn aanleiding geweest om het onderzoek te richten de problematiek rondom de plaatsing van de piano’s in het magazijn.

1.4 Onderzoeksvragen

Op basis van het kernprobleem (§1.3.2) en de doelstelling van het onderzoek (§1.3.3) wordt de volgende hoofdvraag opgesteld:

“Op welke wijze dient het nieuwe pianomagazijn van Music Network Center te worden ingedeeld, zodat de te verwachten logistieke stromen zo efficiënt mogelijk worden afgehandeld?”

Voor de beantwoording van de hoofdvraag zijn de volgende deelvragen opgesteld:

1. Wat is de fysieke lay-out van het nieuwe pianomagazijn?
2. Welke activiteiten dienen in het nieuwe magazijn plaats te vinden?
3. Hoe kunnen de verwachte in- en uitstromen gekarakteriseerd worden?
4. Welke randvoorwaarden zijn er met betrekking tot material handling?
5. Welke opties voor een efficiënte indeling worden door de literatuur aangeleverd?
6. Welke opdelingsopties zijn relevant en wat zijn de voor- en nadelen hiervan?
7. Welke indeling verdient de voorkeur en hoe kan deze geïmplementeerd worden?

1.5. Onderzoeksopzet

In deze paragraaf worden de verschillende delen van dit onderzoek beschreven. Daarnaast zal ingegaan worden op de onderzoeksopzet en de onderzoeksmethode.

1.5.1. Huidige situatie

Allereerst zullen de huidige activiteiten en werkwijze van Music Network Center worden beschreven. Daarbij zal een verdeling gemaakt worden van de interne- en externe activiteiten en processen. De focus van dit onderzoek zal zich richten op de interne logistieke stromen, omdat hier de oorzaak van de beschreven problematiek ligt (§1.3.2.). Ook het planningsproces beschreven worden, omdat dit direct van invloed is op de plaatsing van instrumenten in het magazijn. Er zal vervolgens een onderverdeling gemaakt worden in het *besturingssysteem* en het *bestuurde systeem* met betrekking tot de interne logistiek. Ook zal er ingegaan worden op de manier waarop de instrumenten gehanteerd worden (§2.5.).

Om deze processen te beschrijven zal observatie plaats vinden door middel van *field research*. Zowel het interne- als externe logistieke proces wordt geobserveerd om op basis daarvan de werkwijze te beschrijven. Ook zullen er informele en ongestructureerde gesprekken plaatsvinden met werknemers. Deze methode van kwalitatieve dataverzameling voorkomt de zogeheten *response bias*, waarbij de eenheden van onderzoek – in dit geval de werknemers – anders kunnen gaan reageren, wanneer ze zich bewust zijn van het onderzoek. Op deze manier wordt een vertekend beeld van de werkwijze en het interne proces zoveel mogelijk voorkomen.

Voor de beschrijving van het planningsproces wordt zowel gebruik gemaakt van proces observatie als van analyse van kwantitatieve data. Het bedrijf beschikt over veel opgeslagen gegevens die gebruikt kunnen worden voor het verkrijgen van informatie.

1.5.2. Theoretisch kader

In dit deel van het onderzoek zal op basis van de beschreven huidige situatie een theoretisch kader gevormd worden. Hierin zullen verschillende methoden voor het indelen van een magazijn lay-out worden besproken die van belang zijn voor de magazijnindeling van Music Network Center. Daarnaast zal er literatuur besproken worden die ingaat op het klasseren en hanteren van producten. Ook zullen in dit hoofdstuk een aantal voorbeelden van praktische toepassingen van deze theorieën beschreven worden. Het kader dat hiermee wordt gevormd zal dienen als directe input of richtlijn bij het ontwerpen van alternatieve indelingen.

1.5.3. Gewenste situatie

Alvorens een aantal potentiële lay-outs te presenteren zullen de randvoorwaarden en uitgangspunten van de magazijnindeling beschreven worden. Deels zullen deze bekend zijn op basis van de vorige hoofdstukken, echter wordt er in dit hoofdstuk nadrukkelijk ingegaan op het belang van veiligheid en bereikbaarheid. Op basis van deze randvoorwaarden en de beschreven literatuur zullen een aantal lay-outs gepresenteerd worden. Elke lay-out wordt besproken op basis van zijn compatibiliteit met de randvoorwaarden en zijn voor- en nadelen met betrekking tot de logistieke stromen. Vervolgens zal beoordeeld worden welke lay-out het meest geschikt is en waarom. Hiermee kunnen deelvragen 5 en 6 beantwoord worden.

Aan het eind van het onderzoek zal de hoofdvraag beantwoord worden, door het presenteren van het ontwerp voor de beste indeling van het pianomagazijn van Music Network Center. Vervolgens zal aangegeven worden hoe dit ontwerp het beste geïmplementeerd kan worden. Het onderzoek zal afgesloten worden met aanbevelingen en een conclusie.

Hoofdstuk 2. Huidige situatie

In dit hoofdstuk zullen de hoofdactiviteiten en de werkwijze van Music Network Center beschreven worden. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de interne en externe logistieke activiteiten. Eerst zal het planningsproces beschreven worden, omdat dit proces de directe input is voor zowel de interne als externe logistieke activiteiten. Vervolgens wordt het proces dat de piano's doorlopen beschreven. Daarnaast zal er ingegaan worden op de relatie tussen het planningsproces en het magazijn.

2.1. Planningsproces

Deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

2.1.2. Extern logistiek proces

Deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

2.2. Logistiek Proces

In deze paragraaf wordt expliciet ingegaan op het interne en externe logistieke proces van Music Network Center. Er wordt een onderverdeling gemaakt tussen de interne en externe logistieke processen.

Het overige deel van deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

2.2.1. Extern logistiek proces

Het fysieke logistieke proces van Music Network Center begint bij het afhalen van de instrumenten bij het magazijn van de productenten. Aldaar staan de instrumenten klaar voor het laaddock van de vrachtwagen.

Een vrachtwagen heeft een capaciteit van gemiddeld 21 instrumenten. Wanneer er meer instrumenten afgehaald dienen te worden kan hiervoor de aanhanger gebruikt worden, hier kunnen gemiddeld 15 instrumenten in geplaatst worden. Wanneer er echter veel kleinere types zijn is het mogelijk om meer instrumenten kwijt te kunnen, maar wanneer er een aantal vleugels afgehaald dienen te worden daalt de capaciteit al snel richting 12 instrumenten. Wanneer er nog meer instrumenten afgehaald dienen te worden kan er gebruik gemaakt worden van de dubbele laadvloer. Op deze manier kunnen er zo'n 40 piano's in een vrachtwagen vervoerd worden, maar geen vleugels omdat deze te hoog zijn om de vloer te kunnen laten zakken.

Wanneer alle instrumenten geladen zijn rijdt de chauffeur terug naar Haaksbergen, naar het magazijn van Music Network Center. Hier worden de instrumenten één voor één uitgeladen en blijven ze in het magazijn staan totdat ze weer uit het magazijn 'opgeroepen' worden voor uitlevering aan de eindklant. De verblijfsperiode van een instrument kan soms slechts enkele uren (cross-docking), maar ook enkele maanden duren (opslag). Dit is afhankelijk van de planning en de wensen van de klant. De periode dat de instrumenten in het magazijn van Music Network Center staan en de handelingen die er plaatsvinden wordt in dit onderzoek aangeduid als het *interne logistieke proces*.

2.2.2. Intern logistiek proces

Het interne logistieke proces is de fase tussen het afhalen (extern) en het uitleveren (extern) van de instrumenten. Dit proces begint bij aankomst van de volgeladen vrachtwagen met instrumenten bij het magazijn van Music Network Center. Afhankelijk van de aangehouden laadvolgorde worden er instrumenten uitgeladen. Wanneer er een optimale laadvolgorde aangehouden kon worden bij het inladen, hoeven er geen of slechts enkele instrumenten uitgeladen te worden. Echter, wanneer er veel instrumenten afgehaald zijn is het vaak noodzakelijk dat vrijwel alle instrumenten uitgeladen worden, alvorens kan worden begonnen met het inladen van de instrumenten volgens de planning.

Uitladen

Dit deel bevat vertrouwelijke informatie

Plaatsing in magazijn

Dit deel bevat vertrouwelijke informatie

Inladen

Wanneer bekend is welke ritten er gereden worden en welke instrumenten hierbij betrokken zijn, kunnen de instrumenten ingeladen worden. Dit gebeurt wederom volgens de LIFO methode. De instrumenten die het laatst in de vrachtwagen worden geladen, zijn bestemd voor de eerste klant op de route en het instrument dat het eerst geladen wordt is respectievelijk voor de laatste klant.

Hierbij kan het gebeuren dat bepaalde instrumenten die het eerst uit het magazijn gehaald moeten worden, niet vooraan staan en dus niet direct te bereiken zijn. Soms staan ze bekneld achter andere instrumenten. Hierdoor moeten er eerst andere instrumenten verplaatst worden alvorens het gevraagde instrument bereikt is.

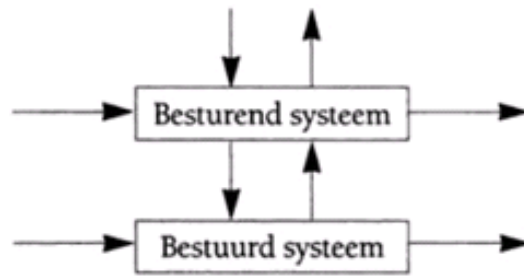
2.3. Besturingssysteem en bestuurd systeem

In de vorige paragrafen zijn het planningsproces en de interne en externe logistieke processen uitvoerig beschreven. Het planningsproces bepaalt de te rijden routes (extern) en de materiaalstroom binnen het magazijn (intern). Het planningsproces kan dus gezien worden als *het besturend systeem* van de interne- en externe materiaalstromen. Omdat dit onderzoek zich focust op de interne logistieke stromen, zal er in deze paragraaf verder ingegaan worden op de aansturing van het magazijn.

Het magazijn van Music Network Center wordt gebruikt voor de opslag van de instrumenten, maar ook als locatie om de instrumenten te hergroeperen of te sorteren alvorens de instrumenten op route te kunnen laden. De planning bepaalt de in- en uitstroom van het magazijn: welke instrumenten staan reeds op volgorde in de vrachtwagen en welke dienen uitgeladen te worden.

Daarnaast bepaalt de planning ook de stromen binnen het magazijn: welke instrumenten dienen vanuit het magazijn geladen te worden voor uitlevering en de interne onderlinge verplaatsing van instrumenten. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de planning het magazijn *bestuurt* op basis van de *duration of stay* van de instrumenten. De instrumenten die het eerst weer uitgeleverd worden, zullen als eerst vanuit het magazijn gehaald worden.

In figuur 2.3 is een schema van besturing weergegeven (Heerkens, 1999). Het besturend systeem (planning) geeft instructies aan het bestuurd systeem (magazijn) en ontvangt informatie omtrent de voortgang (laad- en los proces). Het besturend systeem wordt weer bestuurd door een systeem op een hoger organisatie niveau (pianoproducenten).



Figuur 2.3. Een schema van besturing (bron: Heerkens, 1999)

2.4. Material handling

Deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

2.4.1. Lay-out beperkingen

De unieke fysieke kenmerken van een piano brengen een aantal beperkingen met zich mee voor de indeling van het magazijn.

Het overige deel van deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

Hoofdstuk 3: Theoretisch kader

De literatuur biedt vele methoden en technieken die het ontwerpen van een lay-out of indeling kunnen ondersteunen. Zonder hierin volledig te zijn worden in dit hoofdstuk de methoden beschreven die van toepassing kunnen zijn op de beschreven situatie van Music Network Center. Door de unieke kenmerken van zowel de te vervoeren eenheden, en hun manier van vervoeren, zullen deze theorieën niet allemaal of slechts gedeeltelijk gebruikt gaan worden voor het ontwerpen van een nieuwe indeling. Daarom zal aan het eind van dit hoofdstuk ingegaan worden op een tweetal systemen uit de praktijk, die vanuit een meer praktisch oogpunt toch een theoretische input kunnen geven.

3.1. Layout Design

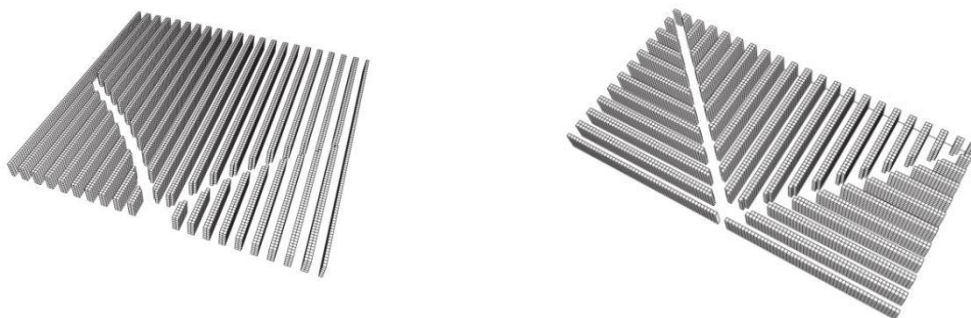
De literatuur biedt verschillende methoden om een lay-out voor een magazijn te ontwerpen. Deze methoden behandelen veelal de verschillende stappen die genomen moeten worden om tot een goede lay-out te komen. Volgens Cakmak, Gunay, Aybakan & Tanyas (2012) zijn er 3 factoren die het ontwerpen van een magazijn lay-out beïnvloeden: Het lay-out plan van het magazijn, de manier van 'orderpicken' en de activiteiten in het magazijn. Daarnaast spelen de dynamische vraag en de manier van groeperen van producten een rol bij het ontwerpen van een magazijn lay-out (Liu, 2004). Liu stelt dat er keuzes moeten worden gemaakt met betrekking tot de locatie van opslag binnen het magazijn en op basis waarvan producten aan deze locatie worden toegekend.

Op grond van het vorige hoofdstuk kunnen we concluderen dat we te maken hebben met een wijze van opslag die in de literatuur bekend staat als *enkel laags blockstacking* van *individuele units (single unit-load)* met een verschillende verblijfsduur (*duration of stay*). De instrumenten kunnen immers niet gestapeld of gedemonteerd worden. Daarbij is de wijze van order verzamelen te typeren als 'enkelspel' (single command), omdat er iedere orderpicking cyclus (van de vrachtwagen naar het magazijn, of andersom) slechts één instrument verplaatst wordt.

3.1.1. Lay-out structuur

Binnen een unit-load warehouse vindt de ontvangst, opslag en uitlevering van producten plaats per unit, veelal een pallet. Bij 'enkelspel' begeven werknemers zich vanaf het depot naar een specifieke locatie in het warehouse, waar 1 pallet wordt opgeslagen of opgehaald, alvorens de werknemer terugkeert naar het depot (Pohl, Meller & Gue, 2008).

Er bestaan in de literatuur veel verschillende mogelijkheden voor het bepalen van het aantal gangpaden en de locatie van deze gangpaden in een warehouse. Deze methoden zijn met name gericht op het minimaliseren van de af te leggen afstand bij het order verzamelen. Meller en Gue (2009) presenteren in dit kader een aantal ontwerpen, waaronder 'flying V-design' en 'Fishbone structure' (figuur 3.1). Deze structuren kunnen leiden tot een verlaging van de kosten voor order picking en een verhoging van de doorvoersnelheid (Meller & Gue, 2009). Hierbij moet worden opgemerkt dat bij deze structuren het depot centraal onderin het warehouse zit. Het Fishbone Warehouse in figuur 3.1 heeft een verhouding van 2:1.



*Figuur 3.1. Optimaal design voor een Flying-V Warehouse en Fishbone Warehouse
(Bron: Meller en Gue, 2009)*

3.1.2. Blockstacking

Bij *block stacking* worden unit loads op elkaar gestapeld (zogenoeten 'blocks') en naast elkaar in het magazijn geplaatst, veelal 2 tot 10 rijen diep. Afhankelijk van het gewicht en de stabiliteit van de ladingen, wordt er van gestapeld tot de hoogte die veiligheidshalve acceptabel is of wanneer er geen ruimte meer is. Deze methode is met name effectief wanneer er meerdere pallets van eenzelfde SKU zijn en de omloopsnelheid van de voorraad groot is (Tompkins, White, Bozer, & Tanchoco, 2003). Wanneer er ladingen uit de rij gehaald worden, ontstaat het fenomeen '*honeycumbing*'. Dit betekent dat er een lege plaats ontstaat, die niet effectief benut kan worden, totdat de gehele rij weggehaald is. Dit heeft ermee te maken dat er maar 1 type SKU opgeslagen is. Wanneer er dus een ander type SKU op de lege plaats zou komen te staan, zijn de achterliggende SKU's niet meer bereikbaar. Daarom is het van wezenlijk belang dat de diepte van de rijen zorgvuldig gekozen worden, om zo het voordeel van efficiënt ruimtegebruik door block stacking te kunnen behouden.

Bij block stacking dient er een afweging gemaakt te worden tussen het gebruik van ruimte en het gemak van de opslagmethode (Gu, Goetschalckx & McGinnis, 2010).

Goetschalckx en Ratcliff (1991) ontwikkelden een dynamisch programmeringsalgoritme waarmee de ruimte maximaal benut kan worden. Om de optimale rijdiepte te vinden dienen de volgende stappen te worden genomen:

1. Kies maximaal 5 verschillende diepten, die ongeveer een meetkundige reeks vormen.
2. Bereken vervolgens voor alle producten die er momenteel zijn het optimale aantal rijen gebaseerd op het patroon uit stap 1. Tel het vereiste aantal rijstroken per diepte voor alle producten op.
3. Sorteert het vereiste aantal rijstroken op basis van diepte. Om geen gangen van verschillende diepten bij elkaar te voegen, kan het cumulatieve aantal rijstroken voor elke diepte worden afgerond.

3.1.3. Order picking

De Koster, Le-Duc en Roodbergen (2007) definiëren order picking als '*the process of retrieving products from storage (or buffer areas) in response to a specific customer request*' en wordt daarmee getypeerd als de meest arbeidsintensieve handeling in een manueel opererend warehouse (Goetschalckx en Ashayeri, 1989). Daarom wordt order picking gezien als het onderdeel van warehousing waar het meeste voordeel te behalen valt (De Koster et al., 2007).

Er zijn verschillende manieren van *order picking* waarbij er allereerst een onderscheid gemaakt kan worden tussen het gebruik van *mensen of geautomatiseerde systemen*. Het merendeel van de warehouses maakt gebruik van mensen voor het order picking (De Koster et al., 2007). De meest voorkomende methode is picker-to-parts, waarbij de order picker door het gangpad loopt of rijdt om de gevraagde items te verzamelen.

De lay-out van een warehouse kent twee sub-problemen met betrekking tot order picking: De layout van het magazijn waarbinnen het order-picking systeem werkzaam is en de layout van het order-picking systeem zelf (De Koster et al., 2007). Het eerste probleem staat bekend als het *facility layout* probleem, waarbij de locatiekeuze voor verschillende afdelingen (binnenkomst, picking, opslag,..., etc.) centraal staat. Hierbij wordt er veelal gekeken naar de *onderlinge relaties* van deze afdelingen. De keuze voor een order-picking systeem wordt volgens Goetschalckx en Ashayeri (1989) beïnvloedt door het verkoopkanaal, de klantvraag, het aanvullen en de grootte van de voorraad, de vraag naar een product en de economische situatie. Interne factoren zijn onder andere de kenmerken van het systeem, de organisatie en operationele methodes van het systeem voor order picking.

3.1.4. Forward and reserve area

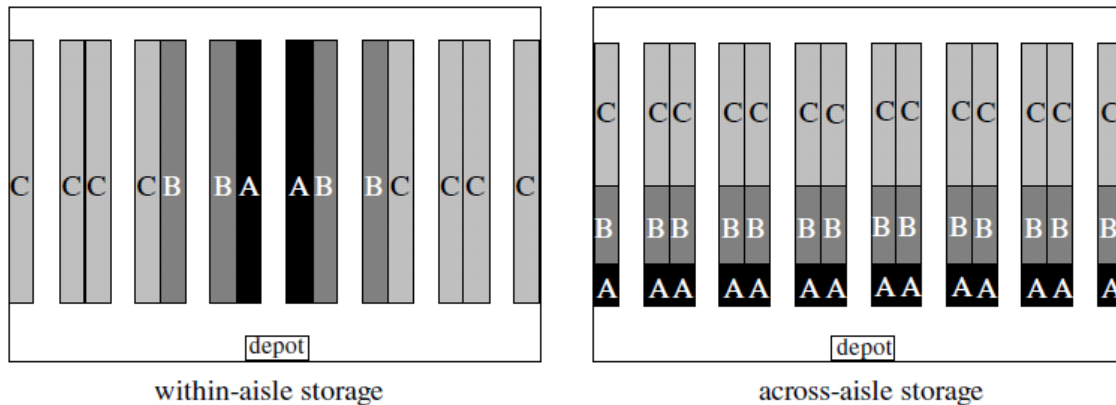
Een veelgebruikte methode om de hoeveelheid werk die gepaard gaat met order picking te verminderen is het opdelen van het magazijn in een *forward area* en een *reserve area* (Van den Berg en Zijm, 1999). Het forward gedeelte wordt gebruikt voor het efficiënt verzamelen van orders en het reserve gedeelte wordt gebruikt om de voorraad op te slaan en om producten te verzamelen die niet

toegewezen zijn aan het forward gedeelte. Deze twee gebieden kunnen afgescheiden zijn binnen een warehouse, maar ze kunnen ook in dezelfde stelling geplaatst zijn. In het laatste geval bevindt de forward area zich op de onderste niveau's van de stelling en de voorraad bevindt zich hoger in de stelling. In sommige magazijnen is ook de reserve area weer opgedeeld; een voor het order picken en een voor het aanvullen van de voorraad. Het forward-reserve probleem is het probleem van bepalen welke producten in de forward area komen te staan en in welke hoeveelheden.

3.2. Storage assignment policy

Een van de grootste problemen bij het ontwerpen van een warehouse lay-out is het kiezen van de juiste opslagmethode (Ashayeri en Gelders, 1985). Koster et al. (2007) beschrijft 5 veelgebruikte methoden van storage assignment, te weten *random storage*, *closest open location storage*, *dedicated storage*, *full turnover storage* en *class based storage*.

- *Random storage*
Iedere pallet of hoeveelheid van eenzelfde product wordt toegewezen aan een willekeurige plaats in het magazijn die beschikbaar is. Hierdoor wordt er veel ruimte in gebruik genomen of is er juist weinig ruimte nodig. Echter gaat deze methode ten kosten van de af te leggen afstand. Random storage werkt uitsluitend in een computergestuurde omgeving.
- *Closest open location storage*
Wanneer de orderverzamelaars zelf de locatie voor opslag mogen bepalen, ontstaat er waarschijnlijk het systeem dat bekend is als *closest open location storage*. De eerste vrije plek die de magazijnmedewerker tegenkomt wordt gebruikt om de producten op te slaan. Dit leidt vaak tot een warehouse waarin de stellingen rondom het depot vol zijn en verder in het warehouse juist leger.
- *Dedicated storage*
Nog een manier is om goederen op te slaan op een vaste locatie. Dit wordt *dedicated storage* genoemd. Een nadeel van deze manier van opslaan is dat er zelfs voor producten die er niet (meer) zijn, ruimte vrijgehouden wordt. Echter kan er met deze methode wel genoeg ruimte gereserveerd worden om de maximale voorraad op te kunnen slaan. Daarnaast raken de orderpickers bekend met de locatie van de producten.
- *Full turnover storage*
Volgens de method van full turnover storage worden de producten over het magazijn verdeeld op basis van hun omloopsnelheid. Producten met een hoge omloopsnelheid zullen op de beter te bereiken locaties geplaatst worden, meestal dichtbij het depot. Deze methode kan het best geïmplementeerd worden in combinatie met *dedicated storage*. Het grootste nadeel van full turnover storage zijn de veranderingen in vraag en assortiment. Iedere verandering vereist een nieuwe productordening binnen het warehouse en dit resulteert in veel verplaatsingen binnen het magazijn. Een nadeel van deze methode is dat het intensieve informatie vereist. Dit geldt ook voor andere methodes die hun opslaglocatie bepalen op basis van klantvraag.
- *Class based storage*
Bij het positioneren van voorraad volgens class based storage worden de goederen opgedeeld in verschillende klassen. Iedere klasse wordt vervolgens aan een bepaalde ruimte binnen het magazijn toegewezen. De positionering binnen deze ruimte is willekeurig. De klassen worden vastgesteld op basis van een bepaald criterium, zoals de vraaghoeveelheid of omloopsnelheid. De meest gevraagde items of *fast-movers* worden vaak A-klasse items genoemd, gevolgd door B- en C-items (slow-movers). Jarvis and McDowell (1991) stellen hierbij dat ieder gangpad slechts één klasse zou moeten bevatten (within-aisle storage). Petersen en Aase (2004) vergelijken verschillende configuraties waaronder 'across-aisle storage'. Beide methoden zijn schematisch weergegeven in figuur 3.1.



Figuur 3.1. Twee manieren om class based storage te implementeren (Bron: De Koster et al., 2007)

3.2.1. Shared Storage en Duration of Stay

Bij de methode van *shared storage* kan de ruimte flexibeler gebruikt worden dan bij *dedicated storage* methoden, waarbij er tijdens de gehele planningshorizon een vaste plek wordt gereserveerd voor een bepaald product. De *shared storage* methode maakt het mogelijk dat er verschillende producten binnen dezelfde locatie opgeslagen kunnen worden (Goetschalckx en Ratliff, 1990). Er ontstaat een optimale situatie wanneer de input en output stromen in balans zijn, dus wanneer er een nieuwe unit binnenkomt op het moment dat er een unit uit de opslag weggaat. Wanneer deze stromen niet in balans zijn is het belangrijk om te weten wanneer er informatie beschikbaar is waarmee de opslagkeuzes gemaakt kunnen worden. Goetschalckx en Ratliff (1990) onderscheiden hierin twee opslagmethodes:

1. *Static storage policies*: Bij deze methodes is alle informatie met betrekking tot opslag en terughalen vanuit het magazijn aan het begin van de planningsperiode bekend. Keuzes met betrekking tot de opslaglocatie kunnen dan voor aanvang van de planningsperiode gemaakt worden.
2. *Adaptive policies*: Deze methodes maken gebruik van informatie die vrijkomt tijdens de planningsperiode om de keuzes met betrekking tot opslag en terughalen te maken.

In de praktijk blijken de meeste opslagsystemen *adaptive* te zijn, omdat er aan het begin van de periode geen complete en perfecte informatie beschikbaar is. Goetschalckx en Ratliff (1990) ontwikkelden een methode die een onderverdeling maakt in klassen op basis van de *duration of stay* van de individuele producten. Hierbij is het uitgangspunt dat de klassen met de kortste verblijfsduur het dichtst bij het depot of laaddock gepositioneerd worden.

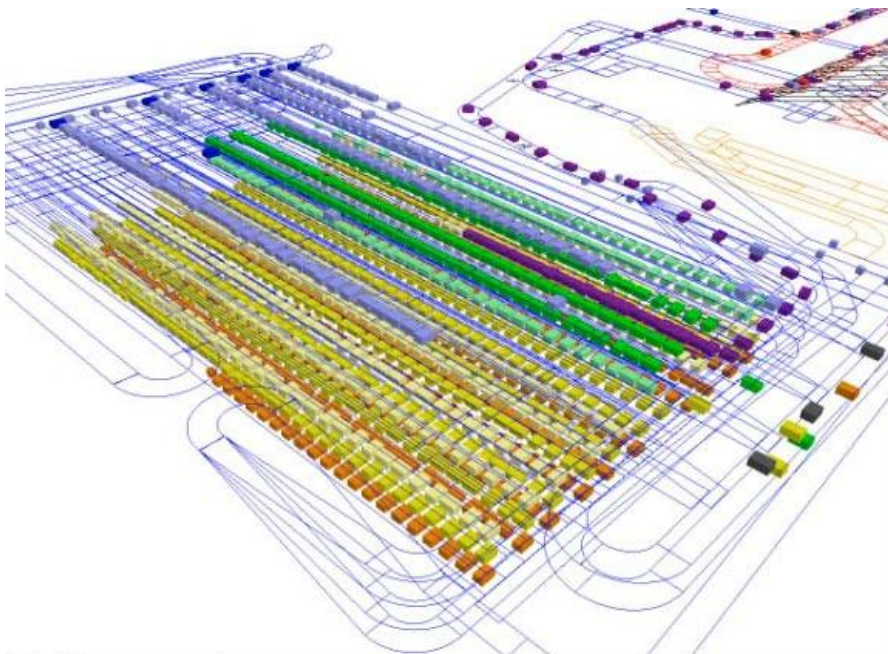
3.2.2. Family-grouping

Bovengenoemde methoden zeggen echter niks over mogelijke onderlinge relaties van de producten. Rosenblatt en Roll (1984) stellen echter dat *grouped storage* meer eisen stelt aan de opslagruimte, dan wanneer er volgens de *random assignment* methode opgeslagen wordt. Echter kan het in sommige gevallen interessant zijn om bepaalde producten dicht bij elkaar te plaatsen. Deze vorm van groeperen wordt ook wel *family-grouping* genoemd. Er kunnen twee methoden van family-grouping worden onderscheiden (De Koster et al., 2007):

1. De '*complementary-based*' methode, waarbij producten bij elkaar gevoegd worden in een cluster op basis van hun overeenkomende vraag, daarnaast worden de producten binnen de cluster ook zo dicht mogelijk bij elkaar gezet (Wäscher, 2004). Liu (1999) stelt daarbij dat het type product met de grootste vraag het dichtst bij het depot moet worden geplaatst (volume-based strategy).
2. De '*contact-based*' methode, clustert ook producten, maar dan op basis van de contactfrequentie: hoe vaak item 'i' na item 'j' gepakt wordt, of item 'j' direct na item 'i'.

3.3. Early Bag Storage (EBS)

Op vliegvelden wordt veelal gebruik gemaakt van een geautomatiseerde Bagage Handling System (BHS). Dit is een zeer geavanceerd systeem dat ervoor moet zorgen dat de juiste koffers op de juiste bagagebanden terechtkomen of naar de juiste hangar gaan. Alle individuele koffers van meerdere vluchten komen bij elkaar in een grote opslagruimte (storage) waar ze tijdelijk opgeslagen worden totdat bekend is waar ze heen gaan. Deze tijdelijke opslag is noodzakelijk voor bagage die ook al ver van te voren is ingecheckt of die wacht totdat de passagiers uit het vliegtuig zijn en hun bagage op de rolband in de betreffende aankomsthal komen afhalen. Dit tijdelijk opslaan van bagage wordt ook wel Early Bag Storage (EBS) genoemd.



Afbeelding 3.2. Bagage Handling Systeem (Bron: Babcock Airports, 2012)

Bij dit systeem wordt er onderscheid gemaakt tussen 'red bags', 'orange bags' en 'green bags'. Er kunnen echter meerdere kleuren worden toegekend, afhankelijk van de grootte van het systeem. Hierbij bepaalt 'de kleur van de koffer' de prioriteit van de koffer binnen de opslag; rode koffers gaan het snelst weg uit de opslag, gevolgd door oranje en groene koffers. Het uitgangspunt bij dit systeem

is dat de koffers die het snelst weer uit de opslag vertrekken op een logische plaats opgeslagen worden, zonder dat er hiervoor veel extra ruimte nodig is. De groene koffers dienen op een locatie binnen het systeem opgeslagen te worden waar ze geen andere koffers hinderen, maar zelf ook geen hinder ondervinden wanneer ze worden opgevraagd uit de tijdelijke opslag.

3.4. Stacking Strategieën bij Containervervoer

Een ander praktijkvoorbeeld dat onderhevig is aan verschillende factoren met betrekking tot opslag is het verschepen van zeecontainers. Zeeschepen komen aan in de haven waar kadekranen containers afladen en opladen. De containers die afgeladen zijn worden naar de hoofdopslag vervoerd met behulp van kranen of andere voertuigen. De afgeladen containers kunnen vervolgens overgaan op een trein of een vrachtwagen (intermodaal transport), of weer op een ander schip. De operationele keuzes die gemaakt moeten worden hebben veelal betrekking op de te reserveren ruimte voor containers, de keuze van een bepaalde locatie voor een container en het gebruik van hulpmaterialen bij bepaalde handelingen. Deze keuzes komen tot uiting in een 'stacking' strategie. Kim en Günther (2007), benoemen 3 hoofddoelen van een stacking strategie:

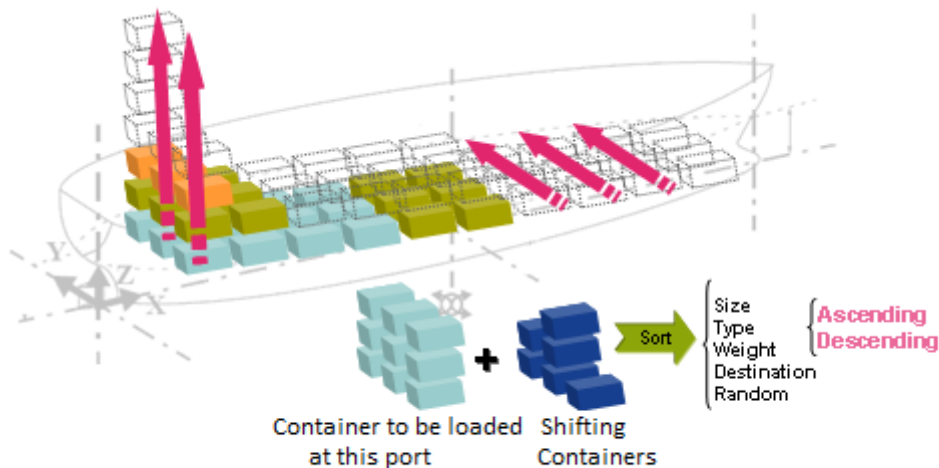
1. Efficiënt gebruik van opslagruimte
2. Efficiënt en tijdig transport vanaf de kade naar overige bestemmingen en vice versa.
3. Het vermijden van onproductieve verplaatsingen.

Een belangrijke input voor de 'stacking' strategie is de beschikbare informatie over een bepaalde container, zoals het type container (grootte, gevaarlijke goederen), wijze van vervoer en de datum en tijd van vertrek. Deze informatie kan echter wijzigen of niet beschikbaar voor vertrek.

Er kunnen verschillende types stacking strategieën onderscheiden worden, waaronder 'category stacking' en 'residence time strategy' (Kim en Günther, 2007). Bij de eerste methode worden er categorieën onderscheiden en containers van dezelfde categorie op elkaar gestapeld. Bij de tweede methode wordt een container bovenop een andere container geplaatst als de vertrektijd van deze container eerder is dan de containers die eronder zitten.

3.4.1. Stowage Planning

Stowage Planning wordt uitvoerig beschreven door Steenken, Voß & Stahlbock (2004) en is een planningsmethode die gebruikt wordt bij het laden en lossen van containerschepen. Bij deze methode wordt met behulp van geavanceerde software bepaald op welk schip iedere container wordt geplaatst, alsmede de locatie van de container binnen of op het schip. Het stuwplan wordt vastgesteld voordat er wordt begonnen met het laden van het schip en kan daarom gekarakteriseerd worden als 'off line optimization' (Steenken et al., 2004). Het planningsproces bestaat grofweg uit twee stappen. De eerste stap wordt uitgevoerd door de planningsafdeling van de rederij. Daar wordt een plan gemaakt voor de indeling van containers op het schip. Hierbij wordt er rekening gehouden met de bestemming van alle containers voor de verschillende havens die tijdens de gehele vaarroute worden aangedaan. Hiervoor worden de containers gecategoriseerd op basis van attributen: de lengte of type van een container, de bestemming, en het gewicht of de gewichtsklasse. Op basis van deze attributen worden de containers vervolgens aan een bepaalde locatie op het schip toegewezen (afbeelding 3.4). Het uitgangspunt van de planningsafdeling is *het minimaliseren van het aantal verplaatsingen en het ruimtegebruik van het schip te maximaliseren*. Containers die in de eerste haven op de route gelost dienen te worden moeten met zo min mogelijk verplaatsingen gelost kunnen worden. Hierbij spelen zowel de *bestemming* van een container als het *gewicht* van de container een belangrijke rol. De uitdaging bij stowage planning ligt dan ook bij het maken van een goede afweging tussen de verschillende attributen. Gewicht speelt namelijk een belangrijke rol bij de stabiliteit van het schip en de locatie van zware containers moet dan ook goed bepaald worden. Hierbij moet er een afweging gemaakt worden tussen de meest ideale locatie op het schip met betrekking tot zowel het gewicht als de bestemming van de container. Zo kan het zijn dat de locatie op het schip op basis van bestemming niet op lijn ligt met de locatietoewijzing op basis van het gewicht.



Afbeelding 3.4. Stowage planning op basis van attributen (Bron: University of Maryland, 2013)

Wanneer dit plan gereed is, wordt het overgedragen aan de terminal operator en wordt het gebruikt als instructie voor de aanleverplanning van de containers. Op basis van deze voorplanning weet de terminal operator dan welke containers er waar op het schip komen te staan. De containers worden op basis hiervan geïdentificeerd en vanuit de werf naar de kadekraan vervoerd.

3.4.2. Yard optimization

Vanuit praktisch oogpunt speelt het minimaliseren van het aantal verplaatsingen binnen de opslaglocatie (de werf) ook een belangrijke rol. Verplaatsingen ontstaan wanneer een bepaalde container opgevraagd wordt voor plaatsing op het schip en er andere containers bovenop staan die eerst verwijderd moeten worden. Dit kost veel tijd en reduceert de productiviteit van het gehele stuwproces (Steenken et al., 2004).

Er kunnen twee strategieën bij de opslaglogistiek op de werf onderscheiden worden: containers die binnenkomen vanaf het schip (input) en containers die weggaan vanuit de werf (output). Een veelgebruikte strategie bij de output van containers is het reserveren van plaatsen in een rij voor containers die hetzelfde gewicht hebben en dezelfde vertrekterminal. Hierbij worden dan de zwaardere containers bovenop lichtere containers geplaatst, omdat deze het eerst op het schip geladen worden (stabiliteit). Voor de inkomende containers (input) wordt er genoeg ruimte gereserveerd, zonder dat er wezenlijk onderscheid gemaakt wordt tussen containers. Dit komt omdat op het moment van 'uitladen' nog geen informatie bekend is over het vertrek van de containers, waardoor deze relatief willekeurig op de werf geplaatst worden. Wanneer die informatie wel bekend is, kan er op basis daarvan een onderverdeling gemaakt worden. Deze opslagplanning komt echter zelden overeen met de werkelijke uitlevering, omdat de uitlevering moeilijk te voorspellen is en er daarnaast veel wijzigingen kunnen plaatsvinden (Steenken et al., 2004).

De kwaliteit van de werf indeling hangt grotendeels af van de *classificatie strategie* en een goede voorspelling van de container distributie. Beide factoren zijn moeilijk te realiseren en resulteren in een groot aantal verplaatsingen binnen de werf. De grootste uitdaging bij het ontwerpen van een terminal is vaak het bepalen van de benodigde capaciteit voor opslag van de containers, omdat deze ruimte vaak beperkt is en daarnaast veel geld kost. In dit kader kan hoog opstapelen weliswaar toegejuicht worden (minder ruimte nodig), maar het te verwachten aantal onproductieve verplaatsingen neemt vrijwel lineair toe met de hoogte van de stapels (Steenken et al., 2004). De uitdaging van de werf indeling is dan ook het maken van goede afweging tussen het gebruik van ruimte en het aantal verplaatsingen.

3.5 Toepassing theoretisch kader

Door de kenmerken van het pianomagazijn en de instrumenten zal een Flying-V structuur of een Fishbone structuur - zoals gepresenteerd door Meller en Gue (2009) - niet het beoogde resultaat opleveren voor het pianomagazijn. Het is weliswaar een interessante indeling in situaties waarbij gebruik gemaakt wordt van 'single command unit-load' (enkelspel), maar het uitgangspunt komt niet overeen met dat van Music Network Center: het minimaliseren van de af te leggen afstand is niet van toepassing voor het pianomagazijn.

Ook de methode van block stacking zal in beperkte mate van toepassing zijn voor het pianomagazijn: De piano's kunnen immers niet gestapeld of gedemonteerd worden, waardoor het voordeel van ruimtegebruik komt te vervallen. Desondanks kan er gebruik gemaakt worden van block stacking, door productgroepen te vormen die bij elkaar in dezelfde rijstrook kunnen staan. Om te bepalen welke instrumenten een productgroep kunnen vormen kunnen ze geclassificeerd te worden. Dit kan gedaan worden op basis van de attributen van instrumenten (klant, bestemming, type, verblijfsduur etc.) zoals we dit zagen bij 'Class-based storage' (§3.2). en 'Stowage planning' (§3.4.1). Vervolgens wordt er gekeken naar de beste locatie binnen het magazijn voor deze categorieën. Hierbij wordt wederom rekening gehouden met de kenmerken van de categorieën en de kenmerken van de materiaalstromen binnen het magazijn. Het concept 'duration of stay' (§3.2.1) speelt een belangrijke rol binnen de interne logistiek van Music Network Center en is dan ook interessant om in acht te nemen bij het ontwerpen van de indeling. Ook de opslagmethode 'shared storage' (§3.2.1) biedt goede perspectieven, doordat het een flexibel gebruik van ruimte realiseert. Dit is gezien de hoge mate van variabiliteit en flexibiliteit van het logistieke proces en de langwerpige vorm van het pianomagazijn een wenselijk resultaat.

Binnen de opslaglocaties kan *family-grouping* (§3.2.2) ervoor zorgen dat de instrumenten met nauwe verwantschappen (bijvoorbeeld dezelfde klant of regio) dicht bij elkaar staan.

De praktijkmethoden 'Early Bag Storage' en 'Stowage Planning' bevatten beiden delen van de beschreven theorieën en kunnen als richtlijn dienen bij de indeling van het magazijn van Music Network Center. Met name het proces van 'stowage planning' heeft vergelijkbare kenmerken met dat van Music Network Center. Het grote verschil is echter dat piano's niet gestapeld kunnen worden en containers wel (block stacking). Desondanks dient er bij 'stowage planning' – evenals in het pianomagazijn – een afweging gemaakt te worden tussen het efficiënt gebruik van ruimte en het gemak van de opslagmethode.

Hoofdstuk 4: Gewenste situatie

In dit hoofdstuk zal de gewenste situatie voor Music Network Center beschreven worden. Allereerst zullen de randvoorwaarden worden beschreven waar de nieuwe indeling aan moet voldoen. Vervolgens worden er 3 verschillende indelingsopties gepresenteerd en bediscussieerd. Op basis hiervan zal er een keuze gemaakt worden voor de beste lay-out, waarmee de hoofdvraag kan worden beantwoord.

4.1. Uitgangspunten en Randvoorwaarden

In de meeste warehouses wordt efficiëntie direct gerelateerd aan de tijd die het kost om de afstand tot een bepaald product te overbruggen. De Koster et al. (2007), stellen zelfs dat er op dit onderdeel het meeste voordeel te behalen valt en stelt voor om de lay-out van het magazijn hier op aan te passen. Het doel van dit onderzoek is het bepalen van de meest efficiënte indeling voor het nieuwe magazijn van Music Network Center. Echter, spelen hier de factoren *tijd* en *afstand* een ondergeschikte rol. Efficiëntie betekent voor Music Network Center de meest optimale manier van indelen, waarbij er een afweging gemaakt wordt tussen enerzijds tijd en ruimte en anderzijds veiligheid en bereikbaarheid van de instrumenten. Daarbij is veiligheid de belangrijkste randvoorwaarde voor de indeling, gevolgd door de bereikbaarheid van de instrumenten. De randvoorwaarden van tijd en ruimte zijn van ondergeschikt belang, maar moeten voorkomen dat de nieuwe indeling bijvoorbeeld zeer hoog scoort op veiligheid, maar iedere maandag 2 uur extra tijd kost om toe te passen. Of dat de indeling zowel veiligheid als een goede bereikbaarheid biedt, maar tot veel extra handelingen en dus extra tijd kost. Het algemene uitgangspunt is het minimaliseren van het aantal handelingen, waardoor de kans op schade zoveel mogelijk beperkt wordt, maar met behoudt van de bereikbaarheid en veiligheid. Uiteraard dient het geheel binnen de fysieke lay-out van het nieuwe magazijn te passen.

4.1.1. Veiligheid

Piano's en vleugels zijn stuk voor stuk erg kwetsbare producten en er wordt voor de nieuwe indeling geen onderscheid gemaakt tussen instrumenten op basis van veiligheidseisen. Immers, alle piano's zijn voorzien van een laklaag die makkelijk kan beschadigen; ze zijn vrijwel onverpakt – slechts in enkele dekens gehuld – en zijn daarnaast geometrisch van vorm. Dit alles zorgt ervoor dat een piano vrij simpel een andere piano kan beschadigen wanneer deze verplaatst wordt. Een kleine aanraking met een van de hoeken van een piano kan al voldoende zijn om een deuk in de lak te veroorzaken. Daarom is het belangrijk dat er binnen het magazijn voldoende ruimte is om de piano's veilig te kunnen plaatsen en verplaatsen.

Het overige deel van deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

4.1.2. Bereikbaarheid

De unieke fysieke kenmerken van een piano brengen beperkingen voor *material handling* (§2.5) met zich mee. Deze beperkingen hebben invloed op de bereikbaarheid van de instrumenten, omdat ze op slechts op een bepaalde manier gehanteerd kunnen worden. De manier van hanteren is voor iedere piano weliswaar hetzelfde, de mate van bereikbaarheid mag verschillen. Dit is voornamelijk van toepassing voor instrumenten die in opslag komen te staan. Van deze is bekend dat ze langer in het magazijn blijven staan dan andere instrumenten, waardoor deze minder goed bereikbaar hoeven te zijn. Van de instrumenten waarvan bekend is dat ze op korte termijn (bijv. 1 tot 3 dagen) uitgeleverd gaan worden is bereikbaarheid ook van belang; deze dienen echter beter bereikbaar te zijn dan instrumenten die later uitgeleverd worden, ongeacht of dit 1 dag of 1 maand later zal zijn.

Het overige deel van deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

4.1.3. Tijd en Ruimte

De factor tijd kan tweeledig uitgelegd worden: In eerste instantie moet de nieuwe indeling zowel bij het uitladen als bij het inladen (order picken) niet onnodig veel tijd in beslag nemen. Bij het uitladen moet de *plaatsbepaling* niet teveel tijd kosten, maar ook het plaatsingsproces op zich. Met dat laatste wordt bedoeld dat er niet veel extra handelingen of draaiingen noodzakelijk zijn, alvorens het instrument op zijn beoogde plek staat.

De ruimte waarbinnen de instrumenten geplaatst worden is bekend; het magazijn. De capaciteit die deze ruimte biedt is afhankelijk van de manier van plaatsing. Er dient een afweging gemaakt te worden tussen de minimale benodigde ruimte die een instrument inneemt en de bereikbaarheid en veiligheid ervan. En hoe korter de instrumenten op elkaar staan, hoe minder ruimte er nodig is, maar hoe groter de kans op schades en hoe slechter de bereikbaarheid. Daarnaast moet er rekening gehouden worden met ruimte om instrumenten te kunnen *shuffelen*. Deze behoefte ontstaat wanneer een bepaald instrument ingeladen moet worden en bekneld staat achter andere instrumenten.

4.2. Indelingsopties

Alle randvoorwaarden hangen vrijwel direct ofwel indirect met elkaar samen en kunnen elkaar beïnvloeden. In principe is het enige vaststaande feit de lay-out van het pianomagazijn; dit bestaat immers al.

De ruimtes die het verst van het I/O punt afliggen - de zogenaamde '*remote locations*' - zullen gebruikt worden voor de minst bewegende instrumenten. Binnen dit kader rijst dan de vraag, op welke manier de instrumenten geplaatst kunnen worden, zodat de gehele interne logistiek wordt verbeterd, met betrekking tot de veiligheid, bereikbaarheid, afstand en tijd. In dit hoofdstuk zullen 3 verschillende indelingen gepresenteerd worden - mede op basis van de literatuur, die getoetst worden aan de gestelde randvoorwaarden (§4.1). Vervolgens zal de beste indeling worden gekozen, waarmee de hoofdvraag van dit onderzoek kan worden beantwoord.

4.3. Indelingsoptie 1

In figuur 4.3 is indelingsoptie 1 weergegeven en in bijlage 8 is een gedetailleerd weergave te vinden. Er is een gangpad, dat door het midden van de magazijnruimte loopt, waarbij er aan beide zijden instrumenten geplaatst kunnen worden. Iedere rechthoek staat voor de ruimte die een piano inneemt inclusief de veiligheidsmarges.

Het overige deel van deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

4.4. Indelingsoptie 2

In figuur 4.4. is indelingsoptie 2 weergegeven en in bijlage 9 is een gedetailleerde weergave te vinden. Er is wederom een gangpad, maar dit loopt niet centraal door het magazijn, maar bevindt zich aan de rechterkant van de magazijnruimte. Daarnaast worden de instrumenten dusdanig geplaatst dat er 7 gangpaden ontstaan van waaruit instrumenten geplaatst en opgehaald zullen worden ('picking aisles').

Het overige deel van deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

4.5. Indelingsoptie 3:

In figuur 4.5. is indelingsoptie 3 weergegeven en in bijlage 10 is een gedetailleerde weergave te vinden. Er is een gangpad, dat door het midden van de magazijnruimte loopt, waarbij er aan beide zijden instrumenten geplaatst kunnen worden. Iedere rechthoek staat voor de ruimte die een piano inneemt inclusief de veiligheidsmarges.

Het overige deel van deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

4.6. Indelingsopties

In de vorige paragrafen (4.1, 4.2, 4.3) zijn achtereenvolgens 3 alternatieve indelingsopties gepresenteerd en besproken. Op basis van hun compatibiliteit met de randvoorwaarden en hun voor- en nadelen zal er in deze paragraaf een keus gemaakt worden voor de beste indeling van het nieuwe magazijn van Music Network Center.

Indelingsoptie 1

Bij de eerste indelingsoptie is er op basis van dedicated storage een indeling gepresenteerd, waarbij de instrumenten vooraf geclassificeerd worden op basis van hun duration of stay: Fast-movers (A), Unknown-movers (B) en Slow-movers (C). Voor elk van deze klassen is een vaste ruimte gereserveerd, waarbinnen de instrumenten op basis van family grouping geplaatst worden. Het grootste nadeel van deze indeling is dat de bereikbaarheid en de veiligheid kunnen afnemen door het gebruik van vaste locaties. Daarbij wordt er geen rekening gehouden met de variabiliteit van aantallen binnen de verschillende klassen. Het voordeel van deze indeling is dat de chauffeurs op deze manier bekend raken met de locatie van de instrumenten en dat deze ruimte biedt aan 84 piano's.

Indelingsoptie 2

Bij de tweede indelingsoptie wordt de bereikbaarheid van ieder individueel instrument gemaximaliseerd. Alle instrumenten zijn bereikbaar ongeacht waar en wanneer ze geplaatst zijn. Hierbij wordt er dezelfde onderverdeling in klassen gemaakt als bij indelingsoptie 1 en is er ook sprake van vaste locaties voor deze klassen (*dedicated storage*). Het grote nadeel van deze indeling is dat er voor ieder instrument veel ruimte nodig is om het te plaatsen of verplaatsen. Hierdoor kunnen er slechts 36 instrumenten in het magazijn worden geplaatst. Daarnaast zijn er veel draaiingen nodig om de instrumenten op de juiste manier tegenover elkaar te plaatsen en is er vrijwel geen ruimte om te *shuffelen* binnen het magazijn. Het grote voordeel van deze methode is dat alle instrumenten bereikbaar zijn en er is in principe geen classificatie nodig is. Hierdoor behoeft dit systeem weinig tot geen organisatie of directe besturing, waardoor er tijd wordt bespaard.

Indelingsoptie 3

Bij de derde indelingsoptie wordt de magazijnruimte efficiënt benut en de bereikbaarheid van de instrumenten geoptimaliseerd. Door gebruik te maken van shared storage voor de A en B-klasse instrumenten ontstaat er een flexibel allocatiesysteem. Er zal een vaste locatie (*dedicated storage*) gereserveerd worden voor C-klasse instrumenten. De instrumenten zullen geclassificeerd worden zoals bij indelingsoptie 1. Binnen de verschillende locaties zal gebruik gemaakt worden van family grouping, waardoor de indeling verder geoptimaliseerd wordt. Het grote voordeel van deze indeling is dat de ruimte voor A en B-klasse instrumenten gedeeld wordt, waardoor er minder vaak met rijdiepten van 4 instrumenten gewerkt hoeft te worden. Dit komt omdat er meer rijen beschikbaar worden gesteld, naarmate er meer instrumenten van een bepaalde klasse zijn. Wanneer er veel A-klasse instrumenten zijn, zullen er minder B-klasse instrumenten zijn en kunnen de A-klasse instrumenten meer rijen in beslag nemen. Dit leidt tot een vermindering van het aantal onproductieve handelingen en een betere bereikbaarheid. Het nadeel van deze indeling is dat het meer aansturing en organisatie nodig heeft dan bij willekeurige plaatsing. Daarnaast is de ruimte voor C-klasse instrumenten een vaste ruimte die ook gereserveerd wordt wanneer er geen instrumenten voor deze klasse zijn.

4.7. Definitieve keuze

De tweede indelingsoptie is niet geschikt voor het magazijn van Music Network Center, omdat deze indeling te weinig capaciteit biedt. Daarnaast is er veel ruimte nodig voor elke verplaatsing en vereist deze manier van plaatsing veel draaiingen waardoor de kans op schades vergroot wordt. De eerste en de derde indelingsoptie bieden betere perspectieven: Er wordt maximaal gebruik gemaakt van de magazijnruimte en bij maximale benutting van de capaciteit bieden deze indelingen ruimte aan 84 piano's.

Het grootste verschil tussen de eerste en derde indelingsoptie zit hem in de manier waarop de magazijnruimte gebruikt wordt. De eerste indeling maakt gebruik van dedicated storage en de derde indeling van zowel dedicated storage als shared storage. Bij beide indelingen worden de bereikbaarheid en veiligheid gewaarborgd, echter biedt de derde indeling hier betere perspectieven. Daar wordt er binnen een van de twee 'vaste' locaties gebruik gemaakt van shared storage, waardoor er vrijwel automatisch een balans gevonden wordt tussen A en B-klasse instrumenten. Wanneer er meer A-klasse instrumenten zijn, kunnen hiervoor meer rijen in gebruik worden genomen, iets wat bij de eerste indelingsoptie niet mogelijk is. Daar kan het namelijk zo zijn dat er veel A-klasse instrumenten zijn en weinig B-klasse instrumenten, waardoor de A-klasse instrumenten 4 instrumenten diep geplaatst moeten worden en de B-klasse instrumenten wellicht slechts 1 instrument diep. Dit resulteert in een inefficiënt gebruik van de magazijnruimte en meer onproductieve verplaatsingen, een hogere kans op schades en tijdsverlies. Daarom indelingsoptie 3 gekozen worden als de indeling die het beste past bij het magazijn, de activiteiten en de werkwijze van Music Network Center.

4.8. Implementatie

In voorgaande paragrafen is reeds gesproken over de organisatie die vooraf gaat aan de implementatie van een bepaalde indeling. In deze paragraaf zal beschreven worden hoe indelingsoptie 3 geïmplementeerd kan worden en hoe de *besturing* van het *bestuurde systeem* plaatsvindt.

4.8.1. Interventie

De manier waarop de nieuwe indeling geïmplementeerd dient te worden kan worden omschreven als een 'interventie' bij binnenkomst van het magazijn. In figuur 4.5. (vertrouwelijk) is de plaats van deze interventie binnen het logistieke proces schematisch weergegeven. Het proces wordt niet afgebroken of gewijzigd, maar er wordt nieuwe informatie aangeleverd die het interne logistieke proces en het daarop volgende externe logistieke proces beter moet laten verlopen.

Het overige deel van deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

Hoofdstuk 5. Conclusie en Aanbevelingen

Dit deel van deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

De oorzaak die ten grondslag ligt aan deze problematiek ligt bij de interne logistiek van Music Network Center. De focus ligt hierbij op het inadequate allocatiesysteem van piano's in het magazijn. Op basis van dit kernprobleem en het doel van het onderzoek is de volgende hoofdvraag geformuleerd: *“Op welke wijze dient het nieuwe magazijn van Music Network Center te worden ingedeeld, zodat de te verwachten logistieke stromen zo efficiënt mogelijk worden afgehandeld?”*

De nieuwe indeling van het magazijn heeft als algemeen uitgangspunt het minimaliseren van het aantal handelingen, met inachtneming van de randvoorwaarden *bereikbaarheid, veiligheid, tijd* en *ruimte*, waardoor de kans op schades geminimaliseerd wordt. Bij de keuze voor een nieuwe indeling is gebruik gemaakt van verschillende theorieën zoals gepresenteerd in hoofdstuk 3. Door de unieke kenmerken van een piano en de variabiliteit van het planningsproces is in de ontwerpfase minder gebruik gemaakt van methoden die de structuur van de lay-out voorschrijven en is hier juist meer gekeken naar de unieke behoeften van Music Network Center en de instrumenten. Voor de opslagmethode is daarentegen juist gebruik gemaakt van de gepresenteerde methoden en uiteindelijk een combinatie van verschillende methoden gebruikt. Bij het ontwerp is er rekening gehouden met de capaciteit- en ruimte behoefte, de beperkingen van *material handling* en de mogelijke scenario's van de instrumenten. Op basis hiervan zijn een drietal mogelijke indelingen gepresenteerd en beoordeeld. Op basis van de compatibiliteit met de randvoorwaarden en de benadering van het uitgangspunt is er een keuze gemaakt voor een indeling.

5.1 Aanbevolen indeling

Voor de indeling van het nieuwe magazijn van Music Network Center is gekozen voor indelingsoptie 3.

Het overige deel van deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

5.2 Beperkingen van het onderzoek

Het onderzoek is – ondanks dat het specifiek gericht is op piano's en een bestaand magazijn – breed opgezet met betrekking tot de mogelijkheden voor een optimale indeling. Echter door de unieke kenmerken en randvoorwaarden diende de theorie op sommige momenten slechts als richtlijn te dienen om te voorkomen dat er hier teveel op gefocust werd. Hierdoor ontstond er ruimte om het probleem breed te benaderen en sterk verschillende indelingen te ontwerpen. De grootste beperking bij de indeling werd veroorzaakt door de beperkte manier van hanteren. Wellicht kan er een ander systeem of een andere techniek onderzocht worden die de beperkende invloed hiervan verminderd. Dit brengt uiteraard ook weer nieuwe randvoorwaarden met zich mee, maar opent tegelijkertijd veel deuren die in de huidige situatie gesloten bleven. Vervolgens kan gekeken worden welke gevolgen dit heeft voor de indeling en wat de invloed hiervan is op het gehele logistieke proces. Daarnaast is er sprake van een zeer hoge variabiliteit binnen het gehele proces, vrijwel niets is zeker of te voorspellen. Er kunnen wellicht patronen ontdekt worden in de aantallen binnen een bepaalde periode, maar ook hier kunnen de aantallen en types variëren. En uiteraard variëren de klanten en daarmee de te rijden routes. Mede hierdoor is er geen gebruik gemaakt van een rekenkundige methode om de instrumenten toe te wijzen aan een bepaalde klasse en locatie binnen het magazijn. Waarschijnlijk zal er een zeer complex model gemaakt kunnen worden om de instrumenten bij binnenkomst aan een locatie toe te wijzen, maar hierbij zullen in de huidige situatie de kosten ver voor de baten uit gaan. Daarnaast lijkt het niet logisch om dit toe te passen op een proces waarbij veel externe factoren een rol spelen en juist flexibiliteit centraal staat.

Referenties

- Ashayeri, J., Gelders, L.F., (1985). Warehouse design optimization. *European Journal of Operational Research* 21, 285-294.
- Babcock Airports (2012) Baggage Handling Systems. Verkregen op 4 augustus, 2013, van <http://www.airport-technology.com/contractors/baggage/alstec/alstec4.html>.
- Cakmak, E., Gunay, N.S., Aybakan, G., & Tanyas, M. (2012). *Determining the size and design of flow type and u-type warehouses*. *Social and Behavioral Sciences*, 58 (2012), 1425 – 1433.
- De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). *Design and control of warehouse order picking: A literature review*. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481-501.
- Gibcus, P., & Kemp, R.G.M. (2003). *Strategy and small firm performance. Research Report H200208*. Zoetermeer: EIM.
- Heerkens, J.M.G. (1999). Bedrijfskundige methodologie; steen der wijzen of steen des aanstoots? In -- (Ed.), *M.J. van Riemsdijk (red.) Dilemma's in de bedrijfskundige wetenschap*. (pp. 101-121). Assen: Van Gorcum. Isbn. 90-232-34146.
- Heerkens, H., (1998). *Methodologische checklist*. TSM Business School, Enschede.
- Kim, K.H., Günther, H-O., (2007), *Container Terminals and Cargo Systems. Design, Operations Management and Logistics Control Issues*. (pp. 133) New York: Springer. Isbn. 978-3-540-49549-9.
- Liu, C.M., (2004). *Optimal storage layout and order picking for warehousing*. *International Journal of Operations Research*, Vol. 1, No. 1, 37-46 (2004).
- Liu, C.M., (1999). *Clustering techniques for stock location and order-picking in a distribution center*. *Computers and Operations Research* 26, 989-1002.
- Goetschalckx, M, and Ratcliff, H.D. (1991). *Optimal lane depths for single and multiple products in block stacking storage systems*. *Institute of Industrial Engineers Transactions*, Vol. 23 (3), 245-258
- Goetschalckx, M., Ratliff, D.H., (1990) *Shared storage policies based on the duration stay of unit loads*. *Management Science*, Vol. 36, No. 9, 1120-1132.
- Goetschalckx, M., Ashayeri, J., (1989). *Classification and design of order picking systems*. *Logistics World* (juni 1989), 99-106
- Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L.F., (2010). *Research on warehouse design and performance evaluation: a comprehensive review*. *European Journal of Operational Research*, 203 53-549.
- Jarvis, J.M., McDowell, E.D., (1991). *Optimal product layout in an order picking warehouse*. *IIE Transactions* 23 (1), 93-102.
- Meller, R.D., and Gue, K.R. (2009). *The application of new aisle designs for unit-load warehouses*. *Proceedings of 2009 NSF Engineering Research and Innovation Conference*. Hawaii, Honolulu.

- Petersen, C.G., Aase, G., (2004). *A comparison of picking, storage and routing policies in manual order picking*. International Journal of Production Economics 92, 11-19.
- Pohl, L. M., Meller, R.D., and Gue, K.R. (2009). *An Analysis of Dual-Command Operations in common warehouse designs*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 367–379.
- Porter, M.E. (1980). *Competitive strategy: Techniques for analyzing Industries and Competitors*. New York: Free Press.
- Rosenblatt, M.J., Roll, Y., (1984). *Warehouse design with storage policy considerations*. International Journal of Production Research 22 (5), 809-821.
- Steenken, D., Voß, S. & Stahlbock, R. (2004). *Container terminal operation and operations research - a classification and literature review*. OR Spectrum 26(1), 3-49.
- Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Tanchoco, J.M.A. (2003). *Facilities Planning*. Danvers; Hoboken, United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Haghani, A., Masoud, H., (z.d.). Technology and education: New wine in new bottles: Choosing pasts and imagining educational futures. Verkregen op 5 augustus, 2013, via University of Maryland, Department of Civil & Environmental engineering Web site:
<http://www.civi.umd.edu/research/transportation/ship-storage>.
- Van den Berg, J.P., Zijm, W.H.M., (1999). *Models for warehouse management: Classification and examples*. International Journal of Production Research 37, 519-528.
- Wäscher, G., (2004). *Order picking: A survey of planning problems and methods*. In: Supply Chain Management and Reverse Logistics, pp. 323-347.

Bijlagen

Bijlage 1: Overzicht aantal instrumenten per week in 2012

Bijlage 2: Piano's: types, afmetingen en uitvoeringen

Bijlage 3: Afbeeldingen types piano's

Bijlage 4: Plattegrond nieuw pand

Bijlage 5: Schematische weergave logistiek proces

Bijlage 6: Plattegrond pianomagazijn en ruimtebehoefte

Bijlage 7: Ruimtebehoefte piano - bovenaanzicht

Bijlage 8: Gedetailleerde weergave indelingsoptie 1

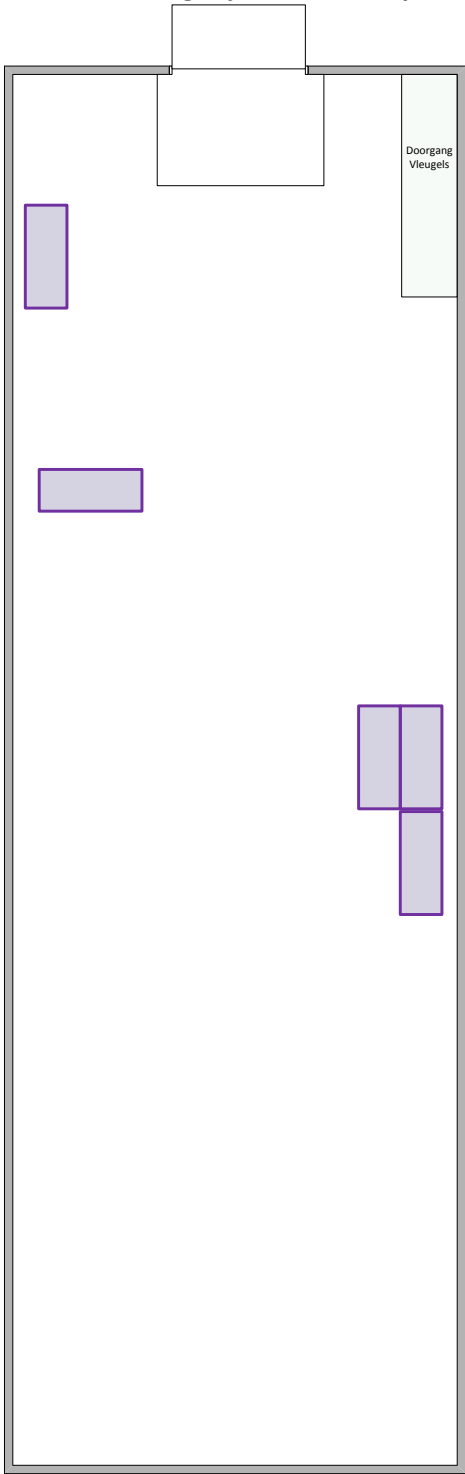
Bijlage 9: Gedetailleerde weergave indelingsoptie 2

Bijlage 10: Gedetailleerde weergave indelingsoptie 3

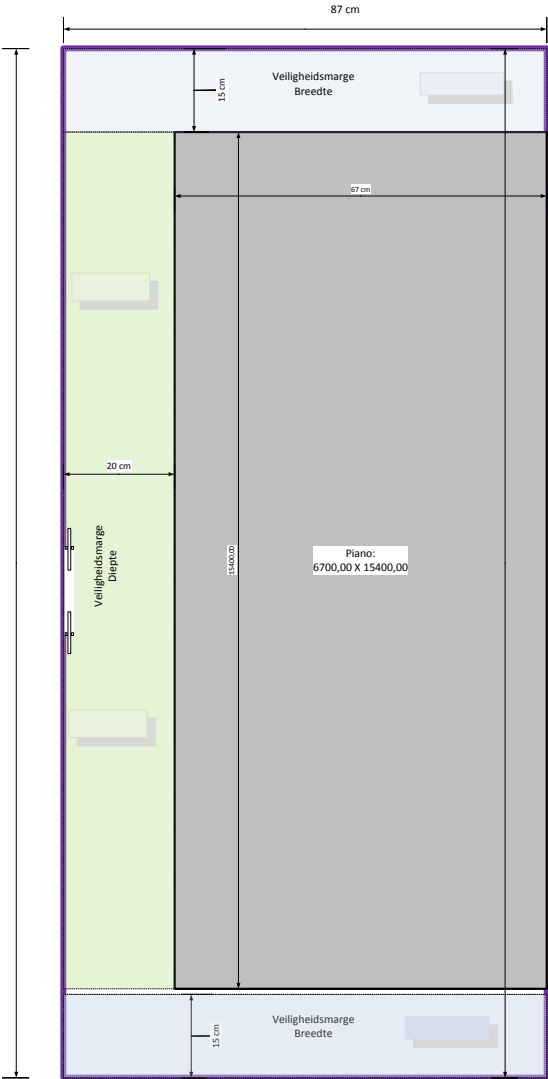
Het overige deel van deze paragraaf bevat vertrouwelijke informatie

Bijlage 6: Plattegrond pianomagazijn en ruimtebehoefte

A. Pianomagazijn met enkele piano's

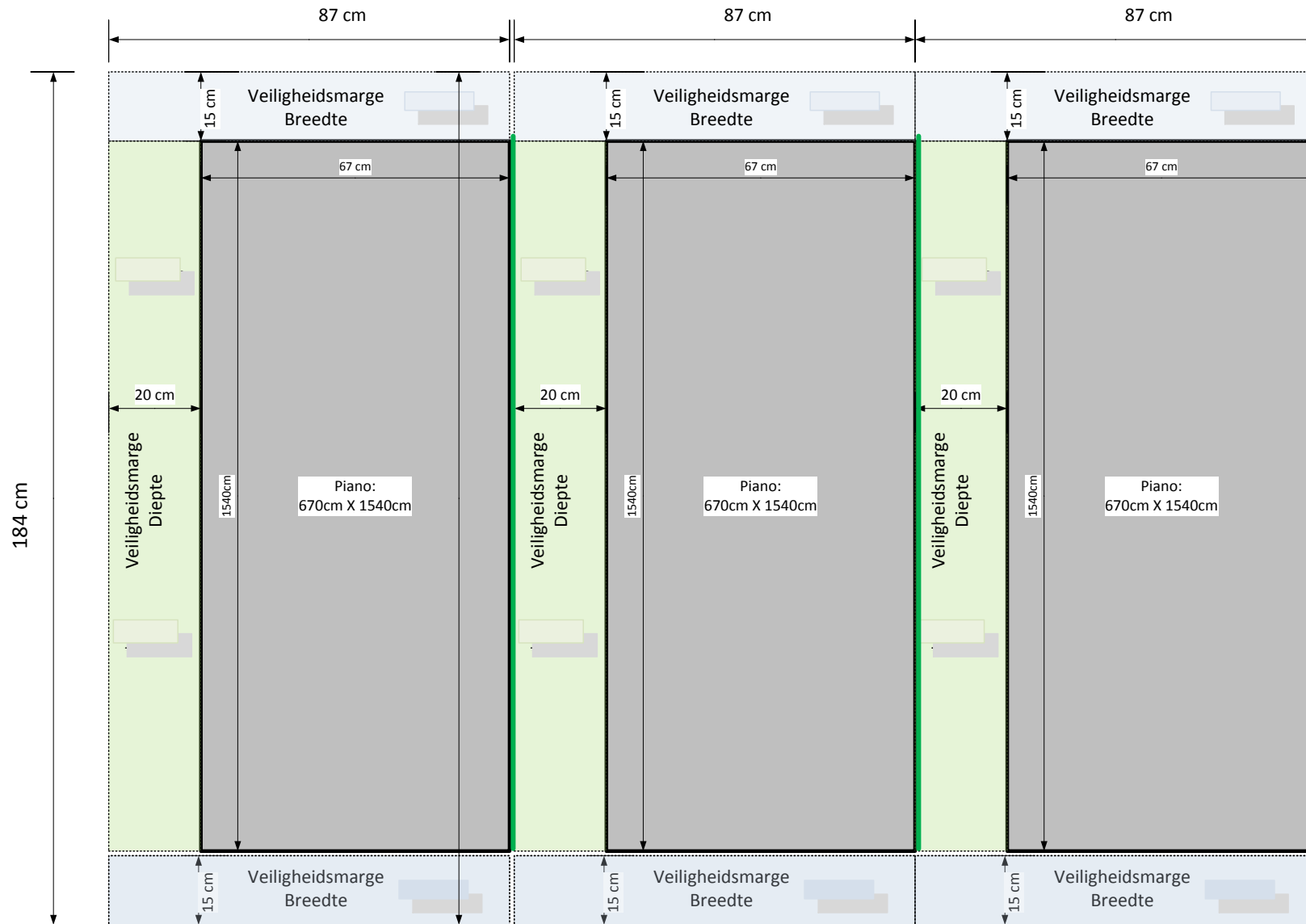


B. Ruimtebehoefte van 1 piano



 Ruimtebehoefte van 1 piano, als bij figuur B

Bijlage 7: Ruimtebehoefte piano - bovenaanzicht



Schaal 1:10

— Rug van de piano

