



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

De optimale magazijnlay-out

Femke Caelen

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Stef MOONS



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

Universiteit Hasselt
Campus Hasselt:
Martelarenlaan 42 | 3500 Hasselt
Campus Diepenbeek:
Agoralaan Gebouw D | 3590 Diepenbeek

2021
2022



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

De optimale magazijnlay-out

Femke Caelen

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de handelswetenschappen, afstudeerrichting supply chain management

PROMOTOR :

Prof. dr. Stef MOONS

Voorwoord

In functie van mijn masteropleiding Supply Chain Management aan de Universiteit Hasselt heb ik als onderwerp van mijn masterproef een optimale magazijnlay-out gekozen. Ik heb dit onderwerp gekozen omdat dit sterk aansluit bij mijn interesses. Ik ben namelijk graag bezig met wiskundige en analytische vakken, waar een optimalisatievraagstuk dan ook zeker in thuishoort. Na heel wat opzoekwerk, brainstormen en overleg met mijn promotor, prof. dr. Stef Moons, ben ik tot de conclusie gekomen dat ik in deze thesis onderzoek zal doen naar de verschillende methodes die gebruikt kunnen worden voor de indeling van een magazijn. Meer specifiek ga ik drie verschillende methodes onderzoeken, waarna ik een grondige analyse maak van de overeenkomsten en verschillen tussen de verschillende methodes.

Graag wil ik ook een woord van dank neerschrijven voor de mensen die mij geholpen en ondersteund hebben doorheen mijn onderzoek. In de eerste plaats zou ik graag mijn promotor, prof. dr. Stef Moons, willen bedanken voor de goede begeleiding en feedback doorheen heel mijn onderzoek. Daarnaast wil ik ook mijn familie en vrienden bedanken die mij doorheen heel mijn proces gesteund hebben.

Femke Caelen

Mei 2022

Samenvatting

De wetenschappelijke literatuur haalt verschillende redenen aan voor het gebruik van een magazijn. Een magazijn kan dienen als plaats voor opslag en buffering van producten, maar ook als overslagplaats, als plaats voor het uitvoeren van waarde toevoegende activiteiten of als centrum voor getourneerde goederen. Daarnaast is ook aangetoond dat wanneer een bedrijf opteert om een magazijn te gebruiken, het steeds belangrijker is dat zowel de locatie als de indeling zo optimaal mogelijk gebeuren. De prijzen van vastgoed en industriegrond zijn de laatste jaren enorm gestegen, waardoor het zeer belangrijk is dat iedere vierkante meter van het magazijn zo optimaal mogelijk wordt benut. Bovendien importeren bedrijven steeds vaker goederen uit verre landen waardoor de doorlooptijden soms erg lang zijn. Om aan de veranderende vraag van de klant te kunnen voldoen, zal de doorlooptijd moeten inkorten, wat zorgt voor een enorme druk op de logistieke processen van een bedrijf. Het is voor de bedrijven dan ook zeer belangrijk dat hun logistieke processen en hun magazijnlay-out zo efficiënt mogelijk zijn opgesteld, wat als opzet van dit onderzoek heeft gediend. In deze thesis is aan de hand van een grondige analyse van wetenschappelijke bronnen eerst nagegaan waaruit de magazijnlay-out van een faciliteit bestaat, waarna er onderzoek gedaan is naar de verschillende methodes om een magazijn zo optimaal mogelijk in te delen.

Meerdere onderzoeken toonden aan dat er heel wat elementen zijn waar rekening mee moet worden gehouden bij de ontwikkeling van een magazijnlay-out. Zo gaf een onderzoek aan dat voor het design van het magazijn zelf, vijf soorten beslissingen moeten genomen worden. Zo moeten er beslissingen genomen worden omtrent de algemene structuur van het magazijn of het conceptuele ontwerp, beslissingen omtrent de grootte en de afmetingen van het magazijn, beslissingen die betrekking hebben op de lay-out van de afdelingen van het magazijn, beslissingen die betrekking hebben op de uitrusting die nodig is in het magazijn en tot slot beslissingen wat betreft het opslagbeleid en de methoden van orderpicken. Er is in deze thesis niet op al deze elementen dieper ingegaan, maar er zijn drie methodes onderzocht die specifiek kunnen gebruikt worden om de lay-out van het magazijn zelf te bepalen.

De methodes die in deze thesis onderzocht zijn, zijn de Systematische Lay-out Planning (SLP), de Spaghettigrafiek en het Facility Layout Problem. Uit onderzoek is gebleken dat SLP één van de meest bekende methodes is waarmee op een systematische manier de lay-out van zowel een bestaand als een nieuw magazijn bepaald kan worden. De methode bestaat uit elf stappen die de beslissingsnemer van het bedrijf helpt om betere beslissingen te kunnen nemen om vervolgens een betere lay-out te kunnen ontwikkelen voor het magazijn. Om bij SLP de locatie van de afdelingen te gaan bepalen, wordt er in eerste instantie gekeken naar de onderlinge relaties. Meer specifiek wordt er gekeken naar het aantal goederen dat wordt vervoerd tussen de verschillende afdelingen, maar ook hoe de mensen bewegen en het gedeeld gebruik van verschillende faciliteiten. Vervolgens zal er gekeken worden naar de ruimte die nodig is voor de verschillende activiteiten en zal aan de hand van deze informatie een efficiënt plan opgesteld kunnen worden.

Een tweede methode die in deze thesis is onderzocht, is de Spaghettigrafiek/het Spaghettidiagram. Bij deze methode worden de fysieke stromen van middelen (materialen, mensen, documenten,...) die zich binnen een bestaande entiteit verplaatsen verzameld aan de hand volgapparatuur zoals een smartphone. Vervolgens worden er lijnen (spaghetti) getekend die het pad weergeven dat wordt afgelegd binnen de entiteit. De kaarten kunnen niet alleen gebruikt worden om een optimale magazijnlay-out te bekomen, maar ook om het personeel bewuster te maken van de interne stromen van het systeem en het veiligheidsniveau, om aan te tonen hoe het gedrag van het individu een invloed kan hebben op het welzijn van het bedrijf alsook om kritieke gebieden in kaart te brengen.

Een derde en laatste methode die in deze thesis is onderzocht, is het Facility Layout Problem. Deze methode kan gebruikt worden voor de ontwikkeling van een optimale lay-out voor zowel een bestaande als voor een nieuwe entiteit. Om tot die optimale lay-out te komen, zal eerst op basis van het volume en de variëteit van de producten die zich in de entiteit begeven eenderzijds en de voor- en nadelen en de kost per eenheid van de verschillende lay-outtypes anderzijds worden overwogen welk lay-outtype het meest geschikt is in een bepaalde situatie. Echter is het ook mogelijk dat er een combinatie van meerdere lay-outtypes wordt gehanteerd. Wanneer het lay-outtype is vastgesteld, zal er voor de verdere ontwikkeling een specifieke procedure moeten gevolgd worden die verschilt naargelang het gekozen type.

Nadat grondig is onderzocht wat de verschillende methodes juist inhouden, is er een analyse gemaakt van wanneer er welke methode gehanteerd moet worden. Om tot de meest geschikte methode te komen, moet de beslissingnemer zichzelf een aantal vragen stellen zoals "Bevindt de entiteit zich in een magazijn context?" of " Ben ik bereid om extra investeringen te doen in apparatuur om zo naast het bekomen van een optimale magazijnlay-out ook andere dingen in kaart te brengen?"... Wanneer de beslissingnemer op alle nodige vragen een antwoord heeft gegeven, zal hij/zij steeds de meest gepaste methode te weten komen.

Concreet heeft dit onderzoek de gelijkenissen en verschillen tussen de methodes in kaart gebracht, evenals hun voor- en nadelen. Hierdoor kunnen bedrijven op een eenvoudige manier een afweging maken tussen de methodes om te bepalen welke methode het meest geschikt is voor hun magazijn. Bijgevolg draagt dit onderzoek in belangrijke mate bij aan de praktijk.

De conclusies van dit onderzoek zijn echter uitsluitend op theoretische bevindingen gebaseerd. Het zou kunnen dat er vanuit de praktijk andere aspecten naar boven komen. Bijgevolg is het zinvol om in verder onderzoek de verschillende methodes eens toe te passen op één bepaalde entiteit om zo te achterhalen waarin de verschillende lay-outs in de realiteit overeenstemmen en waarin ze verschillen van elkaar.

Inhoudsopgave

Deel 1: Inleiding	9
Hoofdstuk 1: Onderzoeksplan	9
1.1 Probleemstelling.....	9
1.2 Onderzoeksvragen.....	12
1.3 Onderzoeksaanpak	12
Hoofdstuk 2: Inleidende begrippen rond het onderzoek.....	13
2.1 Definitie "magazijn"	13
2.2 Magazijnlay-out van een faciliteit.....	14
Deel 2: Methodes voor lay-out van faciliteit te bepalen.....	21
Hoofdstuk 3: Systematische Lay-out Planning.....	21
3.1 Inleiding methode	21
3.2 Werking methode.....	21
3.3 Voor- en nadelen methode	24
3.4 Systematische Lay-out Planning toegepast op een gevalstudie	25
Hoofdstuk 4: De Spaghettigrafiek/Spaghettidiagram.....	33
4.1 Inleiding methode	33
4.2 Werking methode.....	34
4.3 Voor- en nadelen methode	35
4.4 De Spaghettigrafiek/ Spaghettidiagram toegepast op een gevalstudie	36
Hoofdstuk 5: Het Facility Layout Problem.....	41
5.1 Inleiding methode	41
5.2 Werking methode.....	45
5.2.1 Fixed-position layout.....	45
5.2.2 Functional layout	46
5.2.3 Cell layout	49
5.2.4 Product layout.....	50
5.3 Voor- en nadelen methode	53
5.4 Het Facility Layout Problem toegepast op een gevalstudie.....	53
Deel 3: Analyse	61
Hoofdstuk 6: Vergelijking tussen de drie methodes	61
6.1 Verschillen	64
6.2 Gelijkenissen	65
Hoofdstuk 7: Conclusie.....	69
Deel 4: Referentielijst	73

Figuren- en tabellenlijst

Figuur 1: Consolidatie (Bartholdi & Hackman, 2019)	9
Figuur 2: Beslissingen omtrent warehouse design (Gu et al., 2007).....	16
Figuur 3: Schematisch overzicht van de verschillende orderverzamelsystemen (De Koster et al., 2007)	19
Figuur 4: Fundamenten van lay-out planning (Muther, 2005)	21
Figuur 5: Stappenplan SLP (Yang et al., 2000)	22
Figuur 6: The from-to chart (Yang et al., 2000).....	26
Figuur 7: Het relatiediagram (Yang et al., 2000).....	26
Figuur 8: Het ruimte-relatie diagram (Yang et al., 2000)	28
Figuur 9: Alternatieve lay-outontwerpen (Yang et al., 2000)	29
Figuur 10: Voorbeeld Spaghettidiagram (Cantini et al., 2020)	33
Figuur 11: Stappenplan Spaghettidiagram (Cantini et al., 2020).....	34
Figuur 12: De Spaghettidiagrammen voor dag A, B en C (Cantini et al., 2020)	38
Figuur 13: De vier verschillende lay-outtypes toegepast binnen de restaurantscontext (Slack et al., 2013)	42
Figuur 14: Relatie tussen variantie en volume op de lay-out (Slack et al., 2013).....	43
Figuur 15: Keuze lay-outtype beïnvloedt door kosten per eenheid (Slack et al., 2013)	45
Figuur 16: Verzameling informatie in functional layout (Slack et al., 2013).....	47
Figuur 17: Analyse van de productiestroom bij een willekeurig bedrijf (Slack et al., 2013).....	50
Figuur 18: Voorbeeld rangorde diagram (Slack et al., 2013).....	52
Figuur 19: Toewijzing van de elementen aan de verschillende fases (Slack et al., 2010)	53
Figuur 20: Rangorde diagram	54
Figuur 21: Stappenplan voor het bepalen van de meest geschikte methode	66
Tabel 1: Beslissingen om optimale magazijnlay-out te bekommen (gebaseerd op Gu et al., 2007) .	15
Tabel 2: De twaalf functionele gebieden voor X-fab (Yang et al., 2000)	25
Tabel 3: Voetafdruk van de PVD-afdeling (Yang et al., 2000)	27
Tabel 4: Voetafdruk van de de twaalf afdelingen (Yang et al., 2000)	28
Tabel 5: AHP vergelijkende matrix (Yang et al., 2000).....	30
Tabel 6: Som van de waardes per criterium	31
Tabel 7: Relatief belang per criterium	31
Tabel 8: Samenvattende tabel AHP-evaluatie (Yang et al., 2000).....	32
Tabel 9: From-to-chart (Cantini et al., 2020)	39
Tabel 10: Voor- en nadelen van de verschillende lay-outs (gebaseerd op Slack et al., 2010)	44
Tabel 11: De taken, taakduur en directe voorgangers (Braekers, 2021).....	54
Tabel 12: Taken met aantal volgers en bijhorende duurtijd (origineel).....	55
Tabel 13: Toekennen van de verschillende taken aan de verschillende werkstations (origineel) ...	55
Tabel 14: Taken met hun duurtijd en bijhorend aantal volgers (optie 1).....	56
Tabel 15: Toekennen van de verschillende taken aan de verschillende werkstations (optie 1)	57
Tabel 16: Taken met aantal volgers en bijhorende duurtijd (optie 2)	58
Tabel 17: Toekennen van de verschillende taken aan de verschillende werkstations (optie 2)	58

Tabel 18: Taken met aantal volgers en bijhorende duurtijd (optie 3)	59
Tabel 19: Toekennen van de verschillende taken aan de verschillende werkstations (optie 3)	60
Tabel 20: Vergelijkende tabel.....	61

Deel 1: Inleiding

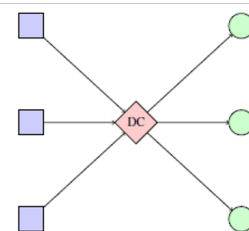
Hoofdstuk 1: Onderzoeksplan

1.1 Probleemstelling

Recent onderzoek van Istia (2020) toonde aan dat de volledige toeleveringsketen alsmaar meer onder druk komt te staan door een toenemende groei in de *e-commerce*. Zo gaf het *European E-commerce Report* (2021) aan dat de omzet in de *e-commerce* in Europa in 2020 met ongeveer 10 procent is gestegen. Deze stijging is deels te wijten aan de COVID-19 pandemie. *E-commerce* maakte het mogelijk om de consumenten toegang tot de goederen te geven wanneer de strenge maatregelen van kracht waren. Uit onderzoek van Badts (2022) blijkt dat deze stijgende trend in 2022 verder gezet zal worden. Klanten plaatsen veel vaker kleine bestellingen die zij vandaag bestellen en straks of ten laatste morgen in huis wensen te hebben (Baker & Canessa, 2009). Hierdoor gaat de productie verschuiven naar kleinere lotgroottes, waarvan de levering op de plaats van het gebruik moet gebeuren en de cyclustijd zal inkorten. Logistieke bedrijven moeten dus in staat zijn om orders op een zo kort mogelijke tijd te behandelen (De Koster, Le-Duc & Roodbergen, 2007).

Echter is de exacte vraag naar het product vaak onbekend (Braekers, 2019). Een van de redenen waarom er volgens De Koster et al. (2007) gebruikt gemaakt wordt van magazijnen, is dan ook om in te kunnen spelen op veranderende marktomstandigheden en onzekerheden. Zij concluderen dat magazijnen voornamelijk gebruikt worden voor de opslag of buffering van producten (grondstoffen, goederen in bewerking, afgewerkte producten) op en tussen plaatsen van oorsprong en plaatsen van verbruik. Volgens Lambert, Stock en Ellram (1998) gaan magazijnen echter vaak wel gepaard met grote investeringen en exploitatiekosten. Denk hierbij aan de kosten van grond, de uitrusting, de arbeidskosten, ...

Verder zijn er nog tal van andere redenen waarom magazijnen worden opgericht. Ondernemingen kunnen bijvoorbeeld beroep doen op een magazijn voor het realiseren van transportvoordelen (Braekers, 2019; De Koster et al., 2007). De Koster et al. (2007) en Baker en Canessa (2009) duiden in hun onderzoek dat een magazijn gebruikt kan worden als overslagplaats of *cross-dock*, waar men vervolgens aan consolidatie, ook wel bundeling genaamd, kan doen. Braekers (2019) gaf als voorbeeld aan dat er in elke winkel producten worden verkocht die van verschillende leveranciers afkomen. Als de producent in elke winkel wil leveren, zal hij veel transport moeten doen. Ook willen de retailers zelf liefst niet te veel voorraad hebben, aangezien dit voor extra opslagkosten zal zorgen. Daarom wensen ze frequente kleinere leveringen. Figuur 1 toont aan dat er om die reden centraal een distributiecentrum geplaatst kan worden waar de verschillende producenten hun producten kunnen leveren. Van hieruit zullen dan alle goederen samen verzonden



Figuur 1: Consolidatie (Bartholdi & Hackman, 2019)

worden naar de specifieke retailer. Vrachtwagens zullen bijgevolg beter gevuld zijn, waardoor het transport efficiënter zal verlopen (Braekers, 2019).

Bovendien halen Baker en Canessa (2009) aan dat een magazijn niet enkel voor opslag en distributie gebruikt wordt, maar ook voor het uitvoeren van waarde toevoegende activiteiten. Om veel sneller op de vraag van de klanten te kunnen inspelen, zullen verschillende waarde toevoegende activiteiten zoals etiketering, productassemblage en verpakken plaatsvinden in het magazijn.

Een volgende reden waarom bedrijven beroep kunnen doen op een magazijn is om productiebesparingen te kunnen realiseren. Retailers kunnen bijvoorbeeld opteren om een *make-to-stock* principe te hanteren. Dit betekent dat ze een grote hoeveelheid goederen in één keer produceren, waardoor de productiekost per eenheid lager is en ze kunnen genieten van hoeveelheidskortingen. Deze voorraad moet uiteraard ook ergens opgeslagen worden, waardoor ze dus een magazijn zullen inschakelen (De Koster et al., 2007).

Ten slotte wordt volgens Baker en Canessa (2009) een magazijn ook gebruikt als centrum voor geretoureerde goederen, zoals defecte goederen of goederen die aan het einde van hun levensduur zijn.

Kortom, er zijn tal van redenen waarom bedrijven beroep doen op een magazijn of distributiecentrum. Gu, Goetschalckx en McGinnis (2007) en Braekers (2019) concluderen echter dat de hoofdactiviteiten van een magazijn bestaan uit het ontvangen, opslaan, picken en verzenden van goederen.

Wanneer er wordt besloten om een magazijn te gebruiken, is het ook belangrijk om na te gaan waar de optimale ligging van het magazijn is. Demirel et al. (2010) tonen in hun onderzoek aan dat de locatie van een magazijn over het algemeen één van de belangrijkste en meest strategische beslissingen is bij de optimalisatie van logistieke systemen. Bovendien is de locatie een langetermijnbeslissing en wordt deze beïnvloed door vele kwantitatieve en kwalitatieve factoren zoals kosten, arbeidskenmerken, infrastructuur en markten, maar ook fiscale stimuleringsmaatregelen en belastingstructuren, beschikbaarheid van arbeidskrachten, kwaliteit en betrouwbaarheid van vervoersmodaliteiten en nabijheid van klanten (Demirel et al., 2010).

Echter wordt er onder andere door KBC aangetoond dat de prijzen van vastgoed en industriegrond de laatste jaren met meer dan 5% zijn gestegen (Vastgoedstrategie, z.d.). Veel bedrijven willen hierdoor kosten besparen en willen de productiviteit in hun magazijnen verbeteren (De Koster et al., 2007). Het is daarom belangrijk dat elke vierkante meter van het magazijn zo optimaal mogelijk wordt benut. Dit is dan ook een reden waarom managers van distributiecentra en magazijnen steeds meer aandacht moeten besteden aan de lay-out en inplanting van hun magazijnprocessen. Onderzoek toont aan dat er kosten zullen worden bespaard, wanneer er in een magazijn een optimale lay-out wordt gehanteerd. Zo wordt er niet alleen plaats bespaard, ook kan er tot vier keer sneller worden gewerkt en kan de foutmarge worden gereduceerd (GAC Business Solutions, 2021).

Bovendien kan het gewonnen grondoppervlak ingezet worden voor andere doeleinden. Zo kan het bijvoorbeeld dienen als verkoop- of showroomruimte (*Opslagsystemen: bespaar tot 90 procent plaats in uw magazijn*, 2020).

Vervolgens is het ook zo dat bedrijven vaker goederen gaan importeren van verre landen, aangezien daar de productiekosten lager zijn of omwille van de schaarste hier. Wanneer bedrijven er bijvoorbeeld voor kiezen om hun producten te importeren vanuit China, zullen deze goederen weken onderweg zijn. De goederen worden in China namelijk meestal eerst per vrachtwagen naar een haven getransporteerd. Van daaruit zullen ze per schip naar de lokale havens, zoals de haven van Antwerpen, worden vervoerd, waarna ze verder via vrachtwagens naar de distributiecentra worden gebracht. Om deze reden zijn de doorlooptijden erg lang (Bartholdi & Hackman, 2019). Nochtans tonen het onderzoek van De Koster et al. (2007) en het rapport van de Belgische *e-commerce* (2021) aan dat consumenten hun producten snel willen ontvangen. Eerder onderzoek wijst erop dat 76 procent van de consumenten de levertijd erg belangrijk vindt wanneer ze een bestelling plaatsen. Wanneer de levertijd geschat wordt op vijf dagen of langer, zal de Belgische consument de checkout verlaten. Bovendien wenst 69 procent van de Belgische consumenten flexibiliteit in de levering. Consumenten willen dus zelf graag bepalen waar, wanneer en hoe hun bestelling zal worden geleverd. Ten slotte geeft ook 33 procent van de consumenten aan dat zij hun levering de volgende werkdag wensen te hebben en 29 procent in het weekend (Vis, 2021). Er kan worden geconcludeerd dat de doorlooptijden dus veel korter moeten zijn om aan deze eis te kunnen voldoen. Dit zorgt dan ook voor een enorme druk op de logistieke processen van een bedrijf. Om deze druk te beperken, is het voor de logistieke bedrijven zeer belangrijk dat hun logistieke processen en hun magazijnlay-out zo efficiënt mogelijk zijn opgesteld (Bartholdi & Hackman, 2019).

Daarnaast willen de klanten hun producten niet enkel veel sneller ontvangen, ook willen ze dit tegen een zo laag mogelijke prijs en in een goede staat (Dharmapriya & Kulatunga, 2011). Vandaag de dag kunnen de consumenten eenvoudig online prijzen raadplegen van andere producenten die hetzelfde product of substituten aanbieden. Aanbieders gaan hierdoor steeds meer concurreren op basis van prijs (Lin & Sibdari, 2009). Om een zo laag mogelijke prijs te kunnen aanbieden, moeten de magazijnprocessen worden geoptimaliseerd. Gegevens tonen aan dat de kosten van magazijnprocessen relatief hoog zijn door het bestaan van vele activiteiten die geen toegevoegde waarde opleveren. Daarom is het belangrijk dat alle activiteiten die geen toegevoegde waarde bieden binnen de gehele toeleveringsketen worden geëlimineerd (Dharmapriya & Kulatunga, 2011).

Er kan dus worden geconcludeerd dat een optimale magazijnlay-out tegenwoordig zeer cruciaal is. Echter is nog niet helemaal duidelijk hoe de optimale magazijnlay-out nu juist wordt bekomen. In deze thesis zal er daarom onderzoek gedaan worden naar een aantal methodes die hiervoor gebruikt kunnen worden.

1.2 Onderzoeksvragen

Als basis van deze masterproef zal er nagegaan worden welke methodes er gebruikt kunnen worden voor de intekening van een magazijn. Daarom luidt de centrale onderzoeksvraag van deze thesis als volgt:

Geven de verschillende methodes voor de intekening van een magazijn hetzelfde resultaat weer?

Om een antwoord te kunnen formuleren op deze onderzoeksvraag, zal eerst kort worden besproken wat een magazijn juist is en waaruit de lay-out van een faciliteit bestaat. De bijhorende deelvraag klinkt dan ook als volgt:

Waaruit bestaat de magazijnlay-out van een faciliteit?

Vervolgens worden er een aantal algemene methodes voor de intekening van de magazijnlay-out onderzocht. De bijhorende deelvragen klinken dan ook als volgt:

Welke methodes kunnen gebruikt worden voor de intekening van de magazijnlay-out? Hoe zijn deze toepasbaar in de praktijk?

Wanneer er een aantal methodes voor de intekening van de magazijnlay-out zijn gevonden en dieper zijn onderzocht, zal er nagegaan worden wat de onderlingen verschillen en gelijkenissen zijn. Er zal een antwoord worden gezocht op de volgende vraag:

Wat zijn de verschillen en overeenkomsten tussen de verschillende methodes voor de intekening van de magazijnlay-out?

1.3 Onderzoeksaanpak

Om het onderzoek tot een succesvol einde te brengen, zullen eerst de nodige wetenschappelijke artikels verzameld worden. Vervolgens zal er een grondige analyse gebeuren om op die manier een beter inzicht te krijgen in de verschillende methodes. De nodige artikels zullen aan de hand van Google Scholar en UHasselt Library verzameld worden. Voor de zoekopdrachten worden onder andere volgende zoektermen gebruikt: *warehouse, warehouse layout, warehouse design, warehouse location, warehouse layout optimization, orderpicking* en *storage strategy*. Combinaties en synoniemen van de zoektermen kunnen ook gebruikt worden. Ook bronnenlijsten van de eerder gevonden artikelen kunnen dienen als basis om relevante artikels te vinden.

Dit literatuuronderzoek wordt zowel geografisch als historisch niet afgebakend. Wel kan er gekeken worden naar het aantal keer dat een artikel geciteerd is om zeker kwaliteitsvolle artikels te verwerken.

Hoofdstuk 2: Inleidende begrippen rond het onderzoek

2.1 Definitie "magazijn"

Voordat er wordt gekeken naar de verschillende methodes om een magazijn in te delen, zal eerst kort worden weergegeven wat een magazijn juist inhoudt en wat de verschillende soorten magazijnen zijn.

Eerder is al gebleken dat een magazijn voor verschillende redenen kan worden ingeschakeld. Ten eerste maakt een magazijn het mogelijk om een opslag of buffering van producten te kunnen realiseren, wat nodig is om snel te kunnen inspelen op de vraag van de klant of de veranderende marktomstandigheden (Baker & Canessa, 2009; De Koster et al., 2007). Ten tweede kan een magazijn worden gebruikt als overslagplaats of *cross-dock* om zo transportvoordelen te kunnen genereren (Braekers, 2019; De Koster et al., 2007). Ten derde halen Baker en Canessa (2009) in hun onderzoek aan dat een magazijn ook wordt gebruikt voor het uitvoeren van waarde toevoegende activiteiten zoals het etiketeren van de producten. Ten slotte kan een magazijn ook gebruikt worden om schaalvoordelen te genereren en kan het dienen als centrum voor geretourneerde goederen (Baker & Canessa, 2009; De Koster et al., 2007). Er kan worden geconcludeerd dat een magazijn verschillende functies heeft en dus ook veel meer is dan enkel en alleen de opslag van goederen. In deze thesis wordt dan ook de brede definitie van een magazijn gehanteerd en wordt er dus vanuit gegaan dat er allerlei activiteiten in het magazijn zullen plaatsvinden.

Niet elk magazijn wordt gebruikt voor dezelfde doeleinden. Zo wordt er volgens Risack (2021) een onderscheid gemaakt tussen productiemagazijnen en distributiemagazijnen. Om dit onderscheid te kunnen maken, kijkt Risack of er al dan niet wijzigingen gebeuren aan de producten. Een distributiemagazijn, ook wel distributiecentrum genoemd, wordt beschreven als een magazijn waarbij de producten in principe geen wijzigingen ondergaan. De hoeveelheid producten en de verpakkingswijze tussen instroom en uitstroom kan wel verschillen, maar verder verandert er niets aan het product. In productiemagazijnen daarentegen ondergaan de producten wel wijzigingen. De producten komen in de magazijnen samen en hier wordt er gewerkt aan een basisproduct (Risack, 2021). Echter haalt Risack (2021) wel aan dat het onderscheid in de praktijk vaak niet zo eenduidig is. Magazijnen kunnen zowel worden gebruikt voor een productiedoel als een distributiedoel.

Bovendien maakt Van Breedam (2021) een onderscheid tussen het traditionele magazijn en het *e-commerce* magazijn, wat mogelijks een verdere onderverdeling is van het distributiemagazijn. Om dit onderscheid te kunnen maken, gaat hij kijken of de producten die worden opgeslagen in het magazijn naar retailers gaan of rechtstreeks naar de klant. Wanneer de producten naar retailers gaan, kan er gebruik worden gemaakt van een traditioneel magazijn. Wanneer de producten rechtstreeks naar de klant gaan, zal er meestal gebruik worden gemaakt van een *e-commerce* magazijn. Het exacte verschil tussen beide magazijnen, zal later duidelijk worden wanneer de verschillende principes van orderpicken van Van Breedam (2021) zullen worden uitgelegd. Echter is het wel belangrijk om in het achterhoofd te houden dat bedrijven niet specifiek voor één type

magazijn moeten kiezen, maar ze kunnen ook beide type magazijnen gaan combineren. Zo kunnen ze bepaalde ruimtes indelen op de traditionele wijze, en andere ruimtes als *e-commerce* magazijn indelen.

Van Breedam (2021) haalt vervolgens ook aan dat er een twee verschillende principes kunnen worden gehanteerd in een magazijn. Zo bestaat er eenderzijds het *picker-to-parts* principe en anderzijds het *parts-to-picker* principe. Het *picker-to-parts* principe houdt in dat de orderpicker zelf door de rekken van het magazijn gaat om de goederen te picken. Deze worden vervolgens naar de kade van het magazijn gebracht om zo in de vrachtwagens te kunnen worden geladen. Bij het *parts-to-picker* principe blijft de *operator* staan en komen de goederen naar hem toe. Een voorbeeld hiervan is dat de rekken op robotjes worden geplaatst. Deze worden gestuurd en wanneer de orderpicker een product van een bepaalde rek nodig heeft, komt de rek naar de orderpicker toe en neemt de orderpicker wat hij/zij moet hebben. Vervolgens gaat de rek vanzelf terug op zijn plaats staan in het magazijn. In het traditionele magazijn wordt er nog vaak van het *picker-to-parts* principe gesproken. Wanneer er een magazijn wordt ingericht dat specifiek gebruikt wordt voor *e-commerce*, zal er sneller beroep worden gedaan op het *parts-to-picker* principe. Dit komt doordat het koopgedrag van de klant erg is veranderd. Klanten plaatsen veel vaker kleine bestellingen die zij vandaag bestellen en straks of ten laatste morgen in huis wensen te hebben (Baker & Canessa, 2009). Om aan deze eisen te kunnen voldoen, moeten logistieke dienstverleners in staat zijn om orders op een zo kort mogelijke tijd te behandelen (De Koster et al., 2007). Van Breedam (2021) haalt dan ook aan dat het *parts-to-picker* principe in deze situatie vaker gebruikt wordt want wanneer hier het *picker-to-parts* principe wordt gehanteert, zullen er duizenden mensen nodig zijn in dat magazijn. Als er te veel mensen tussen de rekken lopen, lopen ze elkaar in de weg, wat dus niet efficiënt zal werken (Van Breedam, 2021). Echter is het niet altijd zo dat een traditioneel magazijn gepaard gaat met het *picker-to-parts* principe en het *e-commerce* magazijn gebruik maakt van het *parts-to-picker* principe. Dit is gewoon een aanbeveling die Van Breedam aangeeft in zijn onderzoek (Van Breedam, 2021). Om het onderzoek niet te complex te maken, zal er niet verder worden ingegaan op een magazijn dat het *parts-to-picker* principe hanteert, maar wel magazijnen die de originele manier van picken, het *picker-to-parts* principe, gebruiken.

2.2 Magazijnlay-out van een faciliteit

Risack (2021) haalt in zijn onderzoek volgende uitspraak aan: "De optimale voorraad is geen voorraad en het beste magazijn is geen magazijn.". Echter is het in de praktijk vaak niet mogelijk om optimaal te kunnen functioneren zonder het bezitten van een magazijn. Volgens Risack (2021) is het doel van het magazijn dan ook om ervoor te zorgen dat de juiste artikelen in de juiste hoeveelheden op het juiste tijdstip op de juiste plaats aanwezig zijn en dit tegen zo laag mogelijke kosten. Dit is dan ook één van de redenen waarom de inrichting van het magazijn zo belangrijk is (Risack, 2021).

De Koster et al. (2007) geven in hun onderzoek dan ook aan dat een magazijn zo optimaal mogelijk moet ingedeeld zijn zodat er geen onnodige afstand wordt afgelegd. Aangezien eerder is gezegd dat

er wordt gewerkt met magazijnen die het *picker-to-parts* principe hanteren, zullen hier dus anders onnodig arbeidskosten worden gemaakt gezien ze geen toegevoegde waarde creëren voor de producten. Wanneer er wordt gekeken naar het ontwerpen en optimaliseren van een magazijn, wordt de reistijd dan ook vaak als primaire doelstelling beschouwd. Niet enkel de afstand is van belang, ook moet het kostenconcept in het achterhoofd worden gehouden. Dit zijn zowel de investerings- als de operationele kosten. Andere doelstellingen die in het achterhoofd kunnen worden gehouden wanneer logistieke dienstverleners een magazijn gaan ontwerpen en optimaliseren zijn het minimaliseren van de doorlooptijd van een order, het maximaliseren van het gebruik van de ruimte, het maximaliseren van het gebruik van apparatuur, het maximaliseren van het gebruik van arbeid, enzovoort (De Koster et al., 2007).

Er kan dus worden geconcludeerd dat er heel wat doelstellingen zijn die kunnen worden nagestreefd om een optimale magazijnlay-out te ontwikkelen. Slack, Brandon-Jones en Johnston (2013) geven in hun onderzoek aan dat er bijkomend ook rekening moet worden gehouden met de veiligheid en het welzijn van het personeel. Zo mag het personeel bijvoorbeeld niet onmiddellijk aan gevaar en lawaai worden blootgesteld. Het is dan ook zeer belangrijk om dit in het achterhoofd te houden bij de ontwikkeling van een magazijnlay-out.

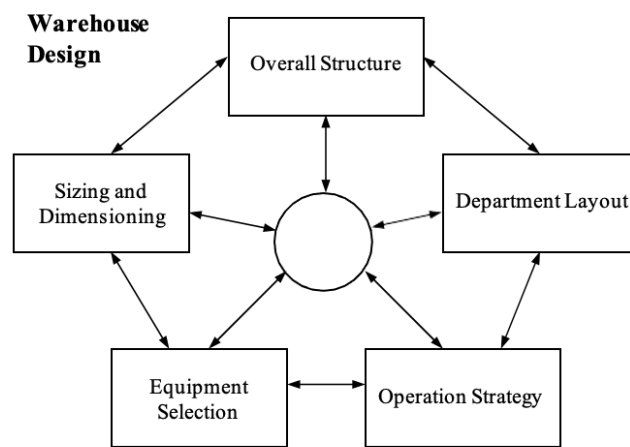
De studie van Gu et al. (2007) geeft aan dat er twee soorten beslissingen zijn die moeten genomen worden wanneer een bedrijf bezig is met de efficiëntie van zijn/haar magazijn. Zo zijn er de strategische beslissingen enerzijds en de tactische en operationele beslissingen anderzijds. Onder strategische beslissingen horen beslissingen omtrent het design van het magazijn. Wanneer het gaat over de werking van het bedrijf, gaat het over tactische en operationele beslissingen. Gezien deze thesis gaat over een optimale magazijnlay-out, zal er niet verder ingegaan worden op de operationele en tactische beslissingen, maar zal er gekeken worden naar de strategische beslissingen en dus naar de vormgeving van het magazijn.

Zoals Tabel 1 en Figuur 2 weergeven, zijn er vijf groepen van beslissingen die doorlopen moeten worden wanneer het *design* van het magazijn wordt bepaald.

Tabel 1: Beslissingen om optimale magazijnlay-out te bekomen (gebaseerd op Gu et al., 2007)

Design- en operational decisions		Decisions
Warehouse design	Overall structure	<ul style="list-style-type: none"> ○ Material flow ○ Department identification ○ Relative location of departments
	Sizing and dimensioning	<ul style="list-style-type: none"> ○ Size of the warehouse ○ Size and dimension of departments
	Department layout	<ul style="list-style-type: none"> ○ Pallet block-stacking pattern (for pallet storage) ○ Aisle orientation ○ Number, length, and width of aisles ○ Door locations
	Equipment selection	<ul style="list-style-type: none"> ○ Level of automation

		<ul style="list-style-type: none"> ○ Storage equipment selection ○ Material handling equipment selection (order picking, sorting) 	
	Operation strategy	<ul style="list-style-type: none"> ○ Storage strategy selection (e.g., random vs. dedicated) ○ Order picking method selection 	
Warehouse operation	Receiving and shipping	<ul style="list-style-type: none"> ○ Truck-dock assignment ○ Order-truck assignment ○ Truck dispatch schedule 	
	Storage	SKU-department assignment	<ul style="list-style-type: none"> ○ Assignment of items to different warehouse departments
		Zoning	<ul style="list-style-type: none"> ○ Assignment of SKUs to zones ○ Assignment of pickers to zones
		Storage location assignment	<ul style="list-style-type: none"> ○ Storage location assignment ○ Specification of storage classes (for class-based storage)
	Order picking	Batching	<ul style="list-style-type: none"> ○ Batch size ○ Order-batch assignment
		Routing and sequencing	<ul style="list-style-type: none"> ○ Routing and sequencing of order picking tours ○ Dwell point selection (for AS/RS)
Sorting		<ul style="list-style-type: none"> ○ Order-lane assignment 	



Figuur 2: Beslissingen omtrent warehouse design (Gu et al., 2007)

Uit Tabel 1 en Figuur 2 kan worden afgeleid dat er eerst en vooral beslissingen genomen moeten worden omtrent de algemene structuur van het magazijn of het conceptuele ontwerp. Deze beslissingen bepalen de functionele afdelingen zoals hoeveel opslagafdelingen er zijn, met welke technologieën er gewerkt zal worden, hoe de bestellingen zullen worden geassembleerd,... Ook zullen hier beslissingen genomen worden omtrent de locaties van de functionele afdelingen in het magazijn en de stroom van de materialen. In dit stadium van het ontwerp van het magazijn is het belangrijk dat er wordt voldaan aan de opslag- en verwerkingsvereisten en dat de kosten worden geminimaliseerd (Gu, Goetschalckx & McGinnis, 2010).

Vervolgens moeten er beslissingen worden genomen omtrent de grootte en de afmetingen van het magazijn. Met de grootte wordt de opslagcapaciteit bedoeld en met de afmetingen wordt de grondoppervlakte bedoeld. Ook zullen er beslissingen moeten worden genomen omtrent de grootte en de afmetingen van de verschillende functionele afdelingen. Deze beslissingen hebben belangrijke gevolgen voor de kosten van de bouw, het aanhouden en aanvullen van voorraad en de goederenbehandeling (Gu et al., 2010).

Een derde groep van beslissingen heeft betrekking op de lay-out van de afdelingen van het magazijn. Er zullen dus beslissingen genomen worden omtrent de plaats waar goederen het magazijn binnenkomen en verlaten. Bovendien zullen er hier ook beslissingen worden genomen over de gangen (Gu et al., 2010).

In de volgende alinea zullen de verschillende indelingsbeslissingen die genomen moeten worden binnen een magazijnafdeling verder worden besproken. Deze beslissingen hebben een invloed op de magazijnprestaties met betrekking tot de bouw- en onderhoudskosten, de kosten van de goederenbehandeling, de opslagcapaciteit, het gebruik van de ruimte en het gebruik van de uitrusting.

Zo zullen er eerst en vooral beslissingen moeten genomen worden omtrent het palletblok-stapelpatroon. Dit houdt in dat er beslissingen moeten worden genomen omtrent de diepte van de gangen, het aantal gangen voor elke diepte, de stapelhoogte, de hoek van de palletplaatsing ten opzichte van het gangpad, de opslagruimte tussen de palletten, de lengte van de gangpaden en de breedte van de gangpaden.

Daarnaast moet er ook aandacht geschonken worden aan de indeling van opslagafdelingen. Dit wilt zeggen dat de gangoriëntaties, het aantal gangen, de lengte en breedte van de gangen en de deurlocaties bepaald moeten worden.

En ten slotte moet het AS/RS-configuratieprobleem in rekening worden gebracht. Hierin worden het aantal kranen en gangpaden bepaald en de afmetingen van de opslagrekken om de constructie-, onderhouds- en bedrijfskosten tot een minimum te beperken en/of het gebruik van de uitrusting te maximaliseren.

Een vierde groep van beslissingen hangt nauw samen met de beslissingen die in de derde groep genomen worden. Deze beslissingen hebben betrekking op de uitrusting die nodig is in het magazijn, wat zal afhangen van de mate van automatisering in het magazijn en het type opslag- en goederenbehandelingssystemen dat moet worden gebruikt (Gu et al., 2010). Eerder onderzoek van Bhaskaran en Malmborg (1990) geeft aan dat de keuze van de opslagmethoden in het magazijn het ruimtegebruik sterk beïnvloeden. Er kan gekozen worden om opslagrekken te plaatsen, maar er moet ook een beslissing worden genomen omtrent de afmetingen hiervan. Wanneer er wordt geselecteerd om diepere opslagrekken te plaatsen, zullen er minder gangen nodig zijn en wordt er kostenbesparend gewerkt. Echter moet er bij het bepalen van de afmetingen wel rekening gehouden

worden met het gemak van de opslag en het picken van goederen. Zo geven Gu et al. (2010) in hun onderzoek aan dat diepe opslagrekken enerzijds ruimte kunnen besparen, maar anderzijds ook moeilijkheden geven bij de bereikbaarheid van de opslaglocaties. Ook kan er gekozen worden om de goederen op te slaan zonder rekken of extra uitrusting, maar gewoon op palletten. De palletten zullen dan aan de hand van markeringen op de grond op de juiste plaats worden gezet en gestapeld. Ook hier moet rekening gehouden worden met de lengte en breedte van de palletten, maar ook moet er voldoende ruimte tussen de palletten zijn zodat de goederen nog eenvoudig kunnen worden opgeslagen en gepickt (Gu et al., 2010).

Een laatste groep van beslissingen die moet worden genomen, heeft betrekking op de operationele strategie. Hierin zullen strategische beslissingen worden genomen wat betreft het opslagbeleid en de methoden van orderpicken. Deze beslissingen zijn van strategische aard gezien zij een invloed hebben op de lay-out van het magazijn. Het is dan ook vaak zo dat op deze beslissingen de nadruk gelegd zal worden gezien deze een belangrijk effect hebben op het gehele systeem en deze ook niet vaak gewijzigd zullen worden (Gu et al., 2010).

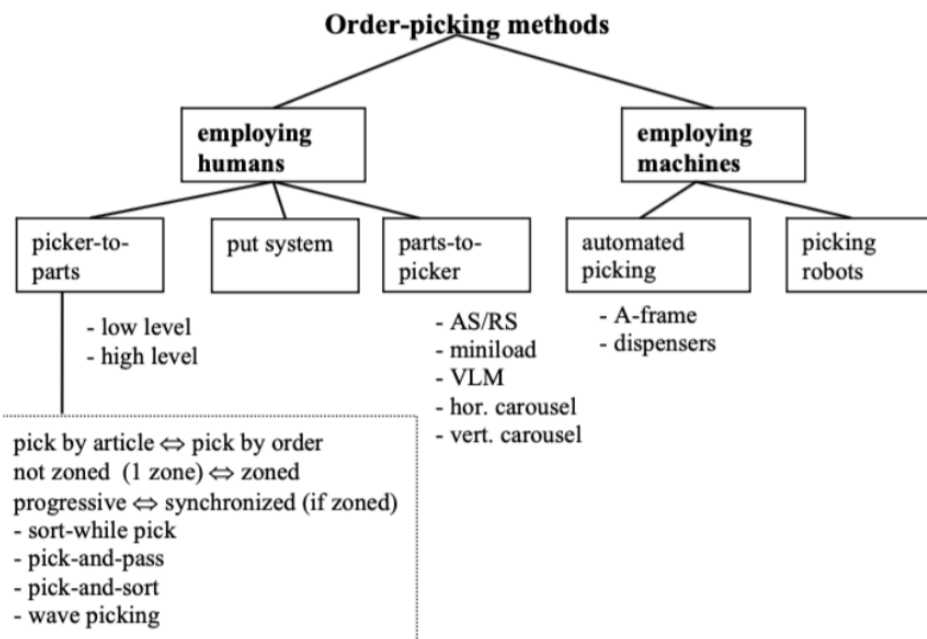
Opslagbeleid

Onderzoek van Gu et al. (2007) toonde aan dat er vier basisstrategiën zijn van opslagbeleid. Deze zijn willekeurige opslag, toegewezen opslag, klasse-gebaseerde opslag en opslag op basis van de duur van verblijf. Gu et al. (2007) zien een willekeurig opslagbeleid als een beleid waarbij de opslaglocaties niet gelinkt zijn aan specifieke items. Dit wilt zeggen dat wanneer er items worden geleverd, deze worden toegewezen aan een willekeurige vrije opslaglocatie in het magazijn. Het is dus mogelijk dat vandaag item A op een bepaalde locatie staat en wanneer het morgen opnieuw binnenkomt, het item een andere locatie in het magazijn zal toegewezen krijgen. Bij een vast opslagbeleid krijgen de items daarentegen wel een vaste opslaglocatie toegewezen in het magazijn. De items worden steeds op dezelfde locatie geplaatst die vooraf is bepaald. Dit wilt zeggen dat de items wanneer ze voor de eerste keer het magazijn binnenkomen een bepaalde locatie zullen krijgen toegewezen en wanneer ze opnieuw binnenkomen zullen ze steeds op dezelfde locatie geplaatst worden. Daarnaast kunnen de items ook worden opgeslagen op basis van klassen. Dit houdt in dat de items worden ingedeeld in verschillende productklassen, zoals bijvoorbeeld de afmetingen van het product, het product type of de populariteit. Tot slot bestaat er ook het opslagbeleid op basis van de duur van verblijf, waarbij de items die het minst lang aanwezig zijn in het magazijn de dichtstbijzijnde locatie zullen toegewezen krijgen en items die voor een langere tijd in het magazijn aanwezig zullen zijn een locatie meer achteraan. Ghoo (2017) haalt in haar onderzoek aan dat om te bepalen welk beleid er gekozen zal worden, er een afweging gemaakt moet worden tussen de voor- en nadelen van elk beleid. Deze afweging zal in deze thesis niet verder gemaakt worden gezien hier de focus niet op ligt.

Methoden van orderpicken

Zoals Figuur 3 weergeeft, moet er eerst een onderscheid worden gemaakt tussen orderverzamelingssystemen waarbij er met mensen wordt gewerkt en orderverzamelingssystemen waarbij er met machines wordt gewerkt. In deze thesis zal er enkel verder ingegaan worden op magazijnen waarbij er met mensen wordt gewerkt, en meer specifiek waar het *picker-to-parts*

principe wordt gehanteerd, wat dan ook eerder al aan bod is gekomen. Gezien de relevantie van deze thesis niet ligt op de manier van orderpicken, zullen deze methodes ook niet verder onderzocht worden.



Figuur 3: Schematisch overzicht van de verschillende orderverzamelssystemen (De Koster et al., 2007)

Deel 2: Methodes voor lay-out van faciliteit te bepalen

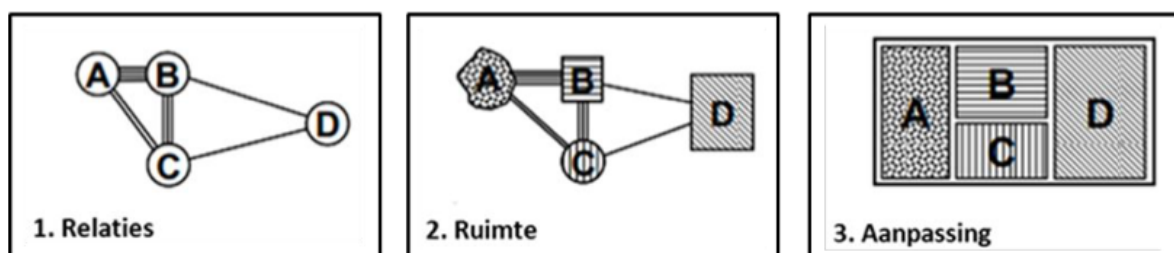
Uit de literatuur blijkt dat er verschillende methodes zijn voor het bepalen van de lay-out van een faciliteit. Yang, Su en Hsu (2000) geven in hun onderzoek aan dat er een onderscheid kan gemaakt worden tussen algoritmische benaderingen en procedurele benaderingen. Bij een algoritmische benadering wordt er gewoonlijk alleen kwantitatieve input gebruikt, terwijl bij een procedurele benadering zowel kwantitatieve als kwalitatieve gegevens in rekening worden gebracht. In de volgende hoofdstukken zullen drie methodes uitgebreid worden besproken en ter verduidelijking worden toegepast op een bestaande theoretische gevalstudie.

Hoofdstuk 3: Systematische Lay-out Planning

3.1 Inleiding methode

Een eerste methode die onderzocht zal worden is de Systematische Lay-out Planning (SLP) van Muther (2005) die zowel toepasbaar is in de magazijn context als in de productie context. Volgens van Silfhout (2012) is SLP één van de meest bekende methodes waarmee op een systematische manier de lay-out van een magazijn bepaald kan worden. De Systematische Lay-out Planning wordt beschreven als een procedurele benadering van lay-out ontwerp, die een significante impact heeft op de prestaties van een systeem (Gerritsma, 2016; Yang et al., 2000).

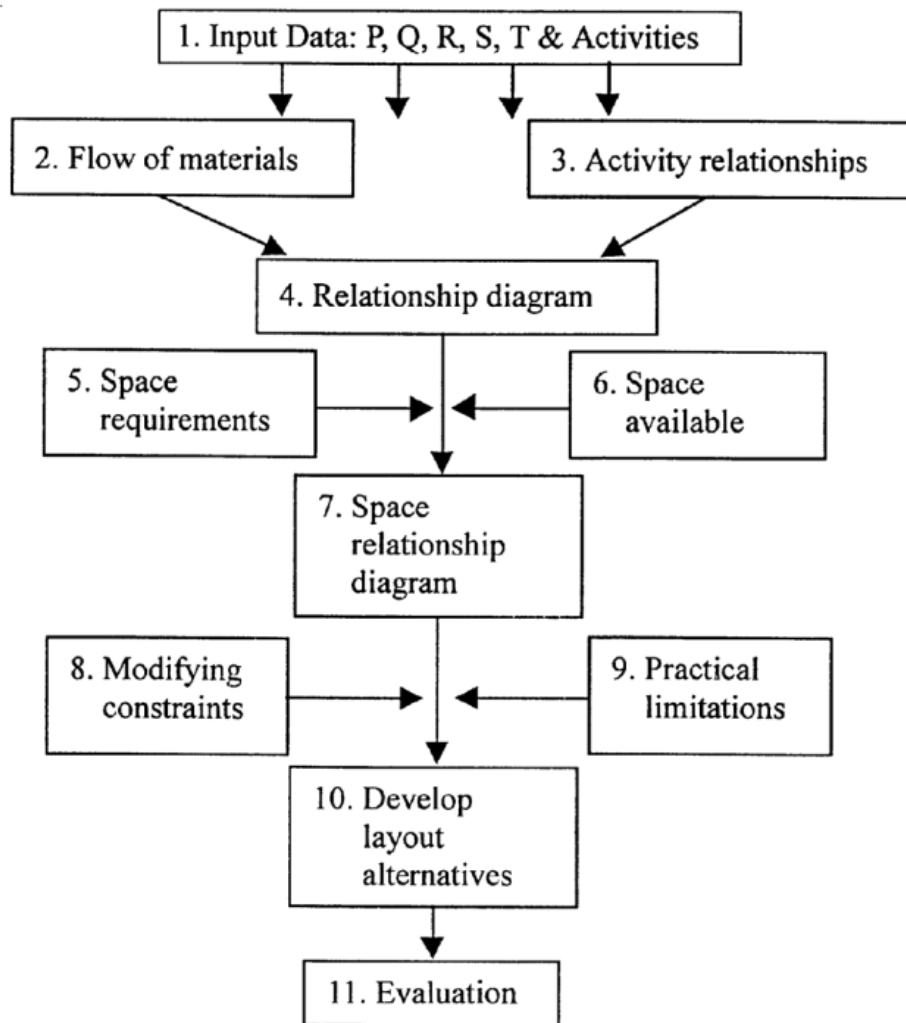
Zoals Figuur 4 weergeeft, is volgens deze methode de lay-out planning van een magazijn gebaseerd op drie fundamenteën. Zo zal de beslissingnemer in eerste instantie kijken naar de onderlinge relaties. Meer specifiek wordt er gekeken naar het aantal goederen dat wordt vervoerd tussen de verschillende afdelingen, maar ook hoe de mensen bewegen en het gedeeld gebruik van verschillende faciliteiten (van Silfhout, 2012). Daarna zal er gekeken worden naar de ruimte voor elke activiteit, in hoeveelheid, aard en vorm. Aan de hand van de gegevens die verkregen zijn in stap 1 en 2, kan er een efficiënt plan worden opgesteld (Muther, 2005).



Figuur 4: Fundamenteën van lay-out planning (Muther, 2005)

3.2 Werking methode

Zoals Figuur 5 aangeeft bestaat de SLP uit elf stappen (Yang et al., 2000). Door het volgen van deze stappen, zal de beslissingnemer van het bedrijf in staat zijn om beslissingen te kunnen nemen en een betere lay-out te kunnen ontwikkelen voor het magazijn.



Figuur 5: Stappenplan SLP (Yang et al., 2000)

Stap 1: PQRST-analyse

In de eerste stap wordt de data verzameld. Om de input te analyseren, wordt er gekeken naar de PQRST sleutel en worden de verschillende activiteiten gedefinieerd. De PQRST sleutel zal eerst verder worden uitgewerkt alvorens er kan overgegaan worden naar de volgende stap (Gerritsma, 2016):

Product

Bij product gaat het over de verschillende soorten producten. Logan (2018) geeft in zijn onderzoek aan dat het niet enkel gaat om geproduceerde goederen of diensten, maar ook artikelen, variëteiten, modellen, stijlen, onderdeelnummers, formuleringen, productgroepen of materiaalklassen.

Quantity

Bij quantity gaat het om de hoeveelheid producten die verplaatst moeten worden per tijdseenheid.

Route

Bij de route wordt er gekeken naar de weg die de producten gaan afleggen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het ontvangen, opslaan, picken, inpakken en verzenden van de goederen.

Support

Logan (2018) beschrijft ondersteunende diensten als alle nutsvoorzieningen, hulpvoorzieningen en verwante activiteiten of functies die in het in te richten gebied moeten worden voorzien, zodat het doeltreffend kan functioneren. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een reachtruck die gebruikt worden om de goederen te verplaatsen, maar ook onderhoud, toiletten,...

Time

De duur dat de goederen in het magazijn aanwezig zijn.

Wanneer de PQRST sleutel is uitgewerkt, moet er bepaald worden welke activiteiten nodig zijn binnen het magazijn om zo de verdere stappen binnen SLP te kunnen volgen. Een mogelijke opsomming van activiteiten volgens Gerritsma (2016) is:

1. Ontvangst
2. Opslag pallets
3. Opslag losgoed
4. Orderpicken
5. Orders inpakken
6. Verzending
7. VAL (Value Added Logistics) project
8. Algemeen kantoor
9. Toiletten
10. Laden aan de kaaien

Stap 2: Analyse van de materiaalstromen

De tweede stap gaat over de materiaalstromen. Hierin worden alle materiaalstromen van de hele productielijn samengevoegd in een *from-to chart* wat de stroomintensiteit tussen verschillende functionele gebieden of afdelingen weergeeft (Yang et al., 2000).

Stap 3: Analyse van de activiteitenrelaties

In de derde stap zal er gekeken worden naar de relaties tussen de verschillende activiteiten. Zo wordt er gekeken hoe belangrijk een bepaalde relatie is tussen elke activiteit aan de hand van een waarderingssysteem. Deze waardering is van belang voor een latere bepaling van de locaties van de verschillende activiteiten (Gerritsma, 2016).

Stap 4: Relatieschema

De vierde stap is het creëren van het relatiediagram. Hierin worden de afdelingen ruimtelijk gepositioneerd. Relaties met een sterke interactie zullen dan ook dicht bij elkaar worden geplaatst (Gerritsma, 2016; Yang et al., 2000).

Stap 5 en 6: Analyse ruimtebehoefte en beschikbare ruimte

In stap vijf wordt er onderzocht hoeveel ruimte elke afdeling nodig heeft, waarna in stap zes achterhaald zal worden wat de beschikbare ruimte is (Yang et al., 2000).

Stap 7: Ruimte-relatie diagram

In stap zeven wordt de afdelingsgrootte-informatie toegevoegd aan het relatiediagram van stap vier.

Stap 8 tot 11: Bijkomende overwegingen/praktische beperkingen/lay-outalternatieven/evaluatie

In stap acht en negen wordt er achterhaald of er nog bijkomende overwegingen of praktische beperkingen moeten genomen worden (Yang et al., 2000). Zo geven Inglar, Dhalla en Mumbia (2010) in hun onderzoek aan dat er vaak veel bijkomende overwegingen zijn die bij de indeling in aanmerking moeten worden genomen. Zij gebruiken als voorbeeld de indeling van een winkelruimte. Een winkelruimte is erg duur waardoor de belangrijkste ruimten, zoals de ingang en de goed zichtbare ruimten, gebruikt worden voor uitstalling en verkoop, terwijl andere activiteiten, zoals opslag en nutsvoorzieningen, in de achterste ruimten moeten worden ondergebracht.

Daarnaast geven Inglar et al. (2010) aan dat de praktische beperkingen grotendeels kunnen voortvloeien uit de kenmerken van de ruimte. Zo geven zij in het onderzoek aan dat indien er niet voldoende liften of een roltrap kunnen worden geïnstalleerd, er een eenvoudige hellingbaan moet worden gebouwd om de klanten van het ene naar het andere niveau te brengen. De hellingbaan kan een belemmering vormen voor de klantenstroom, wat betekent dat er grotere gangpaden en een gemakkelijke helling moeten komen.

Wanneer alle bijkomende overwegingen en praktische beperkingen in acht zijn genomen, worden in stap tien de alternatieve lay-outs ontworpen waarna er in stap elf een uiteindelijke lay-out gekozen zal worden (Yang et al., 2000).

3.3 Voor- en nadelen methode

Yang et al. (2000) geven aan dat de Systematische Lay-out Planning een goede en zeer eenvoudige methode is voor het bepalen van de lay-out van een faciliteit. De methode houdt zowel rekening met kwantitatieve als kwalitatieve gegevens en is bovendien zowel toepasbaar in een magazijn context als in een productie context bevinden. Echter geven Slack et al. (2010) wel aan dat de kwaliteit van de oplossing wel heel erg afhankelijk is van de geleverde input en de analyse bovendien ook niet met *real time* informatie gebeurt.

3.4 Systematische Lay-out Planning toegepast op een gevalstudie

Om de Systematische Lay-out Planning beter te begrijpen, zal deze methode nu worden toegepast op een theoretische gevalstudie van Yang et al. (2000). De gevalstudie gaat over een faciliteit die instaat voor de fabricage van wafers (=halfgeleiders). De belangrijkste productielijn voor het bedrijf is de productie van geheugenchips. Bovendien is het bedrijf van plan haar capaciteit uit te bereiden door de oprichting van een nieuwe 8" fab. De beschikbare ruimte in de fabriek is 7.150 m².

Stap 1: PQRST-analyse

X-fab zal worden gebruikt voor de productie van geheugenchips met verschillende technologieën in lijnbreedte. X-fab zal volgens Yang et al. (2000) bij volledige productie 35.000 eenheden per maand produceren. Bovendien halen ze ook aan dat het aantal stappen dat een geheugenchip moet afleggen variëren van 300 tot 400 stappen en dat elke stap is verbonden met een specifieke gereedschapsset.

In de gevalstudie wordt aangegeven dat wegens het kostbare gereedschap en de processtroom eigenschap, de proceslay-out wordt toegepast voor de departementale planningsdoeleinden. Hierbij zullen de gelijksoortige gereedschappen worden gegroepeerd in een functioneel gebied. In het totaal zijn er twaalf functionele gebieden voor X-fab die in Tabel 2 worden weergegeven (Yang et al., 2000).

Tabel 2: De twaalf functionele gebieden voor X-fab (Yang et al., 2000)

Area name	Abbreviation	Area name	Abbreviation	Area name	Abbreviation
AP Furnace	AP Furnace	CVD	CVD	PIQ	PIQ
LP Furnace	LP Furnace	PVD	PVD	Etch measures	Etch meas
Wet Bench	Wet Bench	Scrubber	Scrub	Etch	Etch
Implanter	Imp	Photo	Photo	Wet Etch	Wet Etch

Stap 2: Analyse van de materiaalstromen

In stap twee worden alle materiaalstromen van de hele productielijn samengevoegd in een *from-to chart*, dat in Figuur 6 wordt weergegeven. Dit *from-to chart* geeft de stroomintensiteit tussen de verschillende functionele weer. De getallen in de cellen geven de vereiste stroomintensiteit (aantal trips) aan voor het maken van één partij halfgeleiders.

	AP Furnace	LP Furnace	Wet Bench	IMP	CVD	PVD	SCRUB	PHOTO	PIQ	Etch Meas	Etch	Wet Etch
AP Furnace		1	7	1	1	0	1	2	0	0	0	0
LP Furnace	2		4	0	0	0	5	0	0	0	2	0
Wet Bench	10	10		0	6	3	1	9	0	2	3	0
IMP	0	0	0		0	0	0	0	0	0	5	3
CVD	1	1	2	0		1	5	2	0	0	0	0
PVD	0	0	0	0	1		5	0	0	0	0	0
SCRUB	0	1	15	0	1	1		3	0	0	1	1
PHOTO	0	0	0	6	0	0	1		0	0	11	4
PIQ	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
Etch Meas	0	0	12	1	3	1	5	3	1		4	2
Etch	0	0	1	0	0	0	0	1	0	11		13
Wet Etch	0	0	2	0	0	0	0	2	0	19	0	

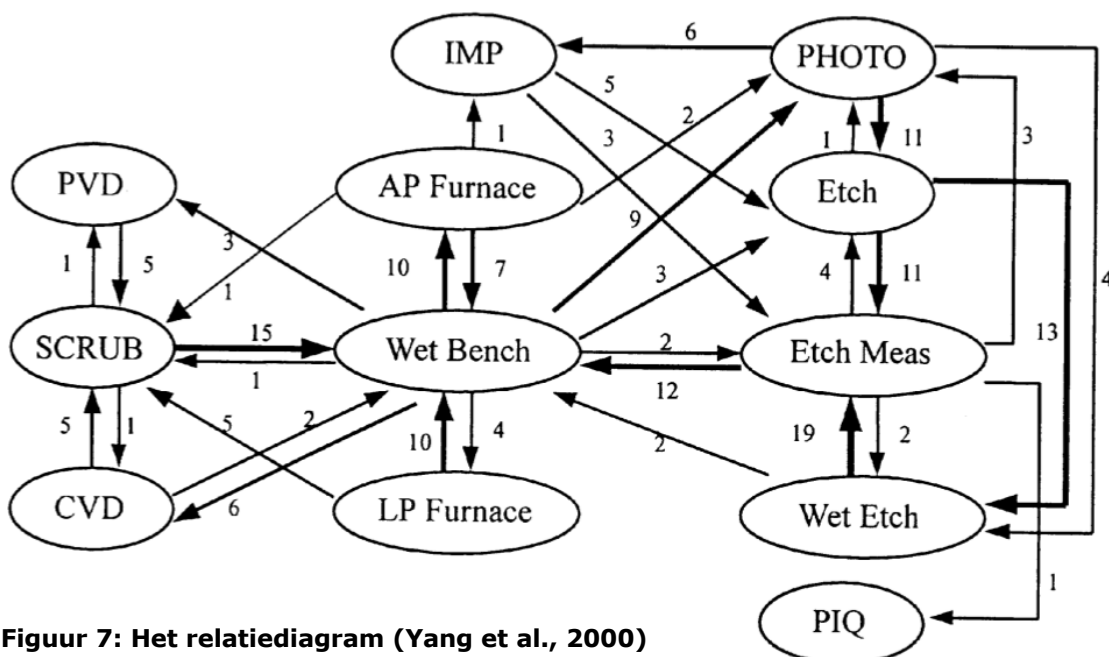
Figur 6: The from-to chart (Yang et al., 2000)

Stap 3: Analyse van de activiteitenrelaties

In de derde stap zal er gekeken worden naar de relaties tussen de verschillende activiteiten. Zo worden normaal zowel kwalitatieve als kwantitatieve analyses gebruikt. In deze gevalstudie wordt enkel beroep gedaan op de kwantitatieve analyse, waarvoor het *from-to-chart* gebruikt wordt, en worden de kwalitatieve analyses niet gebruikt voor de relatieve positioneringsbeslissing van de afdeling (Yang et al., 2000).

Stap 4: Relatieschema

In deze stap worden de afdelingen ruimtelijk gepositioneerd. Relaties met een sterke interactie zullen dan ook dicht bij elkaar worden geplaatst (Gerritsma, 2016; Yang et al., 2000). Figuur 7 geeft een snel overzicht van de potentiële nabijheidsrelatie.



Figuur 7: Het relatiediagram (Yang et al., 2000)

Stap 5 en 6: Analyse ruimtebehoefte en beschikbare ruimte

In stap vijf wordt er onderzocht hoeveel ruimte elke afdeling nodig heeft, waarna in stap zes achterhaald zal worden wat de beschikbare ruimte is (Yang et al., 2000). Zo geven Yang et al. (2000) aan dat de benodigde ruimte afhankelijk is van de afmetingen van de gereedschappen die nodig zijn om de geplande 35.000 halfgeleiders per maand te kunnen produceren. Bovendien moet ook rekening worden gehouden met de benodigde ruimte voor ondersteunende activiteiten, zoals onderhoud, mens-machine interactie, materiaalverwerking, toekomstige uitbreiding, enzovoort (Yang et al., 2000).

Yang et al. (2000) geven in de gevalstudie aan dat in stap 5 eerst de vereiste voetafdrukruimte voor elk gereedschap in elke afdeling bij elkaar wordt opgeteld om de ruwe voetafdrukruimte te berekenen. Deze wordt vervolgens vermenigvuldigd met een inflatiefactor van 1,2 voor de benodigde ruwe afdelingsruimte. Deze factor wordt er toegevoegd om op die manier rekening te houden met de ruimte die er nodig is voor procesondersteunende activiteiten. Ten slotte wordt de ruimteplanning afgestemd door gebiedsdeskundigen om rekening te houden met gereedschapsspecifieke ondersteunende ruimtevereisten. Yang et al. (2000) illustreren deze ruimtebehoefte-planningsprocedure als volgt aan de hand van de PVD-afdeling. Ze geven aan dat ze hun berekeningen baseren op de data die ze van de gereedschapsleveranciers en van het X-fab capaciteitsmodel verkregen hebben.

Er zijn vier verschillende soorten gereedschap gegroepeerd in de PVD-afdeling (Ti Sputter, M2 hot Al Sputter, Wsix en HTF). Eerst en vooral wordt de ruwe voetafdruk berekend. Bijvoorbeeld voor Ti Sputter is dat $4 \times (4,01 \times 3,33) = 53,41 \text{ m}^2$. Vervolgens wordt dit getal vermenigvuldigd met 1,2 voor de vereiste voetafdruk te kunnen berekenen. Voor Ti Sputter is dat dan $53,41 \times 1,2 = 64,10 \text{ m}^2$. Ten slotte wordt de planning van de benodigde ruimte verfijnd door gebiedsdeskundigen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Voetafdruk van de PVD-afdeling (Yang et al., 2000)

Tool Name	Quantity	Length (m)	Width (m)	Raw	Footprint (m ²)	
					Modified	Tuned
Ti Sputter	4	4.01	3.33	53.41	64.10	69.00
M2 hot Al Sputter	5	4.57	3.30	75.41	90.49	103.00
Wsix	7	4.01	3.33	93.47	112.17	115.00
HTF	5	4.01	3.33	66.77	80.12	92.00
					Total space	379

Yang et al. (2000) hebben bovenstaande berekening uitgevoerd voor de twaalf verschillende afdelingen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4.

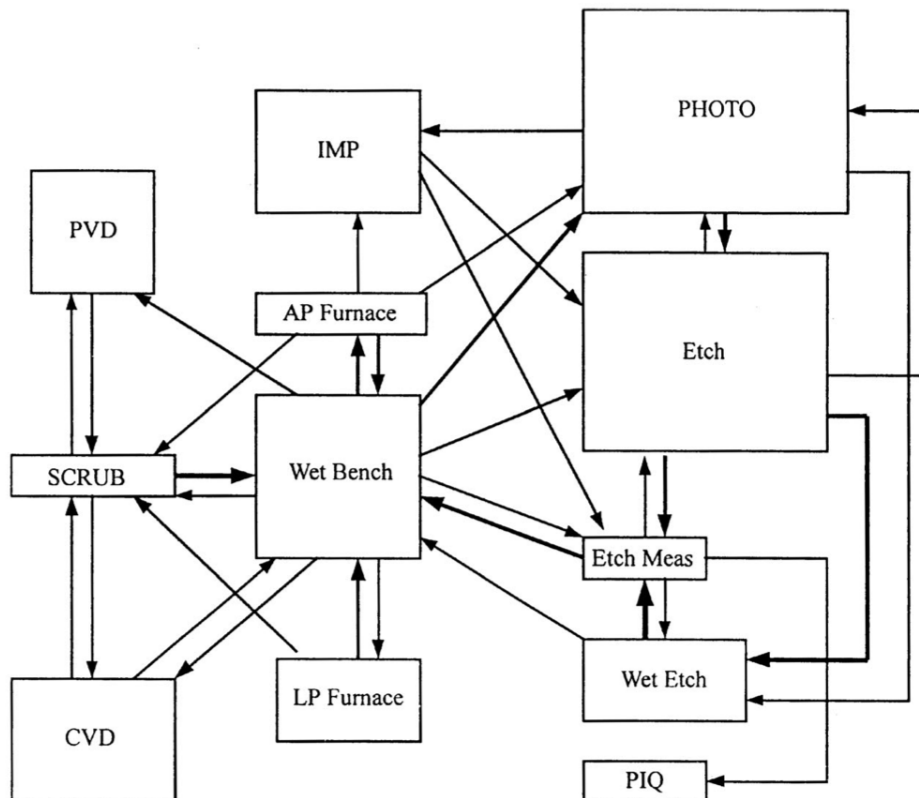
Tabel 4: Voetafdruk van de de twaalf afdelingen (Yang et al., 2000)

Area name	Size (m ²)	Area name	Size (m ²)	Area name	Size (m ²)
AP Furnace	172	CVD	521	PIQ	134
LP Furnace	296	PVD	379	Etch measures	118
Wet Bench	699	Scrubber	163	Etch	1,388
Implanter	518	Photo	1,537	Wet Etch	349

Yang et al. (2000) geven in de gevalstudie aan dat de totale beschikbare vloeroppervlakte 110 x 65 = 7.150 m bedraagt. Echter is ook gegeven dat er een centrale ruimte van 8,2 meter zal worden gereserveerd voor zowel de installatie van het interbay material handling systeem als voor de centrale doorgang. Hierdoor is de totale beschikbare ruimte nog maar 110 x (65 - 8,2) = 6.248 m. Wanneer de som wordt genomen van alle voetafdrukken die opgesomd staan in Tabel 4, dan kan worden besloten dat er een klein tekort is aan beschikbare ruimte (6.248 - 6.274 = -26). Dit tekort wordt in de gevalstudie dan ook gelijkmatig opgevangen door de bestaande afdelingen. Dit wilt zeggen dat de afmetingen die berekend zijn voor elke afdeling een klein beetje gaan afwijken van de werkelijke afmetingen.

Stap 7: Ruimte-relatie diagram

In stap zeven wordt de informatie omtrent de afdelingsgrootte toegevoegd aan het relatiediagram van stap vier. De paren van afdelingen die een nauwere relatie hebben, worden bij voorkeur kort bij elkaar geplaatst (Yang et al., 2000).



Figuur 8: Het ruimte-relatie diagram (Yang et al., 2000)

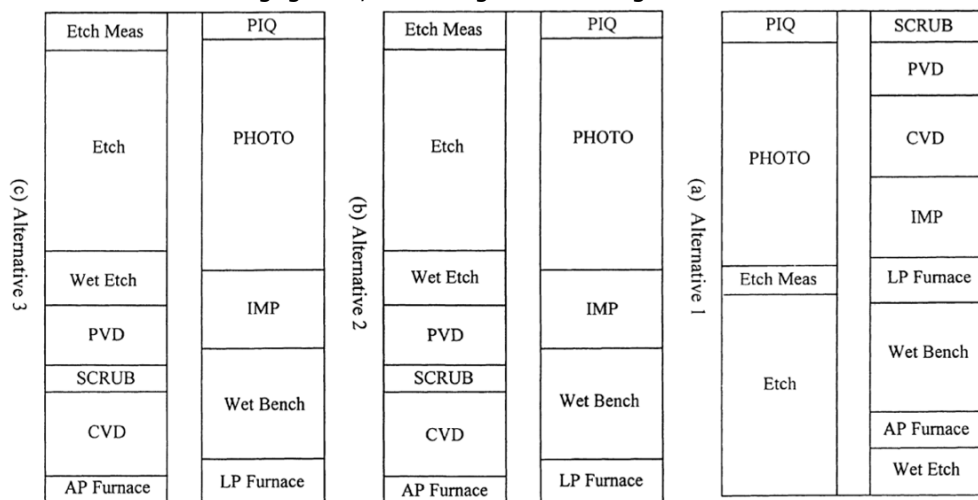
Stap 8 tot 10: Bijkomende overwegingen/praktische beperkingen/lay-outalternatieven

In stap acht en negen wordt er achterhaald of er nog overwegingen of praktische beperkingen in overweging moeten genomen worden (Yang et al., 2000).

Overwegingen en praktische beperkingen die in de gevalstudie worden aangegeven:

- 1) Het foto-belichtingsproces is gevoelig voor de chemische damp en de potentiële verontreiniging van respectievelijk Wet Bench en Scrubber, waardoor het moet gescheiden worden van deze twee afdelingen.
- 2) Photo en Implanter moeten bij voorkeur in elkaars buurt geplaatst worden om de flexibiliteit van het gebruik van subfab te vergroten wanneer er geen significante invloed op de efficiëntie van de stroom is. Subfab is de vloer direct onder de cleanroom.
- 3) De ondersteunende eenheden voor het procesgereedschap, bv. controlepaneel, pomp, enz., worden gewoonlijk in de subfab vlak onder het bijbehorende procesgereedschap geplaatst om de beschikbaarheid en bruikbaarheid van de subfabruimte te vergroten.
- 4) Zowel voor Photo als voor Implanter zijn er minder ondersteunende eenheden. Hun subfabruimte kan dan ook worden gebruikt voor productiegerelateerde activiteiten, zoals een onderhoudsruimte of extra bewerkingsgereedschappen, met name wanneer deze zich in elkaars nabijheid bevinden.

Bovendien worden er in stap tien alternatieve lay-outs gemaakt (Yang et al., 2000). Yang et al. (2000) geven in de gevalstudie aan dat ze beginnen met de plaatsing van de grootste afdelingen zoals Photo, Etch en Wet Bench gebieden. Uit het ruimte-relatiediagram van stap 7 blijkt dat Foto en Etch in elkaars nabijheid moeten liggen. Wanneer twee afdelingen bij voorkeur dicht bij elkaar liggen, worden ze ofwel in de buurt geplaatst aan dezelfde kant van de centrale ruggengraat of aan de andere kant van de centrale ruggengraat. Wet Etch moet dicht bij Etch staan, maar wel apart van Photo. Scrubber moet dicht bij Wet Bench, PVD en CVD staan, maar niet bij Photo. Implant moet dicht bij Photo. Het lay-out ontwerpproces gaat door met het plaatsen van afdelingen op de fabrieksvloer op deze manier en met het overwegen van noodzakelijke beperkingen totdat alle afdelingen een locatie hebben toegewezen gekregen. De resulterende drie lay-out alternatieven die in de gevalstudie worden aangegeven, worden getoond in Figuur 9.



Figuur 9: Alternatieve lay-outontwerpen (Yang et al., 2000)

Stap 11: Evaluatie

In deze stap zullen de verschillende lay-outs onderzocht worden om vervolgens één lay-out te kiezen. Yang et al. (2000) geven in hun onderzoek aan dat de evaluatie van lay-outalternatieven moeilijk is gezien er zowel kwantitatieve als kwalitatieve doelstellingen zijn gesteld. Bovendien zijn veel van die doelstellingen subjectief van aard. Yang et al. (2000) hebben er daarom voor gekozen om deze evaluatie uit te voeren aan de hand van AHP (Analytical Hierarchical Process) die stap voor stap zal worden uitgelegd:

- 1) De schaal van belangrijkheid wordt gedefinieerd volgens de schaal van Satty 1~9:

Intensity of importance	Definition
1	Equal importance
3	Moderate importance
5	Strong importance
7	Very strong or demonstrated importance
9	Extreme importance
2 · 4 · 6 · 8	For compromise between the above values

In de oorspronkelijke gevalstudie van Yang et al. (2000) worden acht categorieën gebruikt voor de evaluatie van de lay-out, waarvan er in deze gevalstudie slechts vier van worden gebruikt. Degene die in de gevalstudie gebruikt worden zijn: 1) maximaliseer de capaciteit, 2) maximaliseer de productiviteit, 3) maximaliseer de lay-outflexibiliteit, en 4) maximaliseer de WIP-stroom. Voor elk criterium zijn er een reeks geassocieerde attributen die worden gebruikt om doelstellingen te beschrijven.

Yang et al. (2000) geven aan dat het AHP evaluatieproces start met de wegingsevaluatie. Tijdens deze evaluatie wordt het relatieve belang voor elk paar ontwerpdoelstellingen bepaald door middel van een vergelijkende matrix. Om tot de uiteindelijke vergelijkende matrix te komen, zoals weergegeven is in Tabel 5, worden er verschillende iteraties uitgevoerd die later stap per stap besproken zullen worden.

Tabel 5: AHP vergelijkende matrix (Yang et al., 2000)

	Maximize capacity	Maximize productivity	Maximize layout flexibility	Maximize WIP flow	Weights
Maximize process capacity	1	3	6	1/2	0.290
Maximize productivity	1/3	1	2	1/7	0.093
Maximize layout flexibility	1/6	1/2	1	1/9	0.052
Maximize WIP flow	2	7	9	1	0.564

De relatieve gewichten die in de laatste kolom zijn weergegeven, worden op de volgende manier berekend:

Eerst wordt de som van elke kolom berekend.

Tabel 6: Som van de waardes per criterium

	Maximize process capacity	Maximize productivity	Maximize layout flexibility	Maximize WIP flow
Maximize process capacity	1	3	6	1/2
Maximize productivity	1/3	1	2	1/7
Maximize layout flexibility	1/6	1/2	1	1/9
Maximize WIP flow	2	7	9	1
Sum	7/2	11,5	18	221/126

Vervolgens worden alle getallen gestandaardiseerd en in de laatste kolom wordt het gemiddelde berekend per rij:

Tabel 7: Relatief belang per criterium

	Maximize process capacity	Maximize productivity	Maximize layout flexibility	Maximize WIP flow	PREF
Maximize process capacity	2/7	3/11,5	1/3	0,5/(221/126)	0,290
Maximize productivity	2/21	1/11,5	1/9	18/221	0,093
Maximize layout flexibility	1/21	0,5/11,5	1/18	14/221	0,052
Maximize WIP flow	4/7	7/11,5	1/2	126/221	0,564
Sum	1	1	1	1	1

De AHP-evaluatie wordt herhaald om de gewichten voor de attributen onder elk criterium te bepalen.

Ten slotte wordt de AHP herhaald voor de drie alternatieven tegen elk attribuut. Wanneer dit wordt uitgevoerd, zal volgende tabel bekomen worden:

Tabel 8: Samenvattende tabel AHP-evaluatie (Yang et al., 2000)

Objectives	Weight	Attribute	Weight	Alt 1	Alt 2	Alt 3
Maximize capacity	0.290	Maximize equipment utilization	0.740	0.370	0.310	0.320
		Maximize space utilization	0.167	0.200	0.300	0.500
		Support tool redundancy	0.094	0.290	0.350	0.360
Maximize productivity	0.093	Maximize output/given number of machines	0.574	0.210	0.290	0.500
		Minimize staff-load/given number of machines	0.239	0.250	0.130	0.620
		Minimize material handling	0.056	0.380	0.250	0.370
		Minimize walking distances and non-valued-added activities	0.131	0.300	0.200	0.500
Maximize layout flexibility	0.052	Obtain layout flexibility for future expansions	0.083	0.290	0.360	0.350
		Obtain process flexibility for process changes	0.417	0.370	0.320	0.310
		Obtain product flexibility for new products	0.417	0.270	0.450	0.280
Maximize WIP flow	0.564	Support process conversion	0.083	0.460	0.310	0.230
		Minimize cycle time	0.570	0.330	0.170	0.500
		Support linearity of flow	0.248	0.360	0.360	0.280
		Support limited staging area at work stations	0.054	0.320	0.370	0.310
		Grand weight	0.349	0.267	0.385	

Conclusie

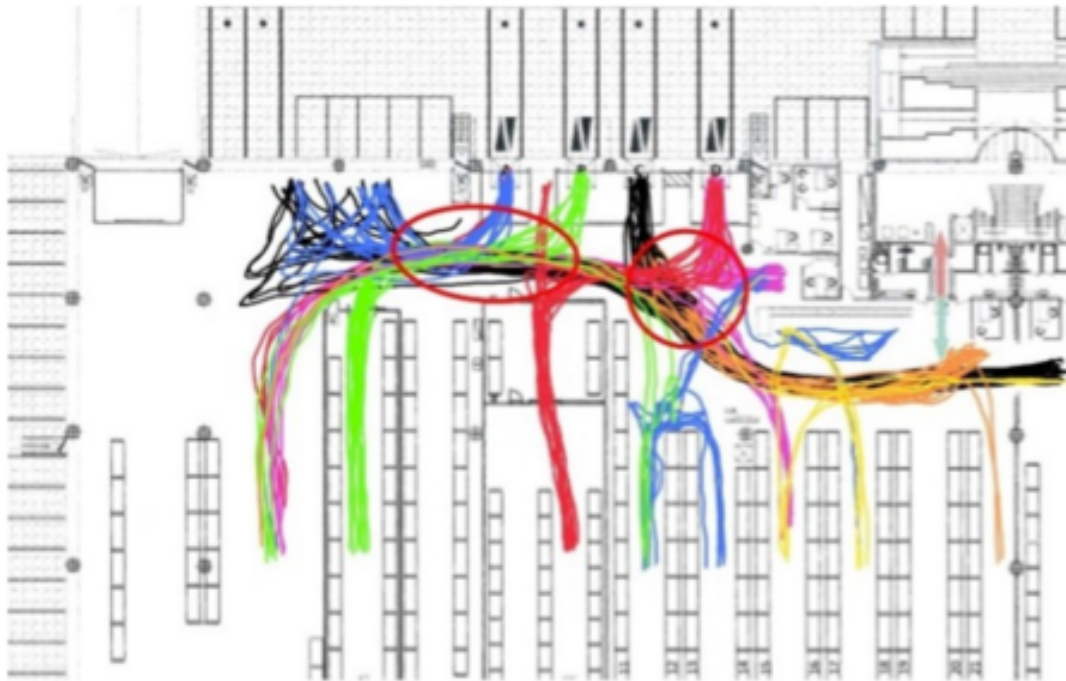
Na een grondige analyse van de verschillende waardes, kan er worden geconcludeerd dat het evaluatieproces heeft gekozen voor alternatief 3 gezien hier het totale gewicht het hoogst is, namelijk 0,385. Dit totale gewicht is berekend door het gemiddelde te nemen van alle gewichten die behoren tot een bepaald alternatief.

Yang et al. (2000) geven in hun gevalstudie ook aan dat alternatief 3 het meest optimaal is wanneer meerdere doelstellingen tegelijk in aanmerking worden genomen, maar het niet zo is dat alle criteria afzonderlijk ook optimaal zijn. Als je bijvoorbeeld kijkt naar het eerste attribuut dat het maximale gebruik van de uitrusting weergeeft, kan er worden geconcludeerd dat alternatief 1 hoger scoort dan alternatief 3. Maar gezien Yang et al. (2000) een beslissing nemen op basis van het totale gewicht, zal er toch gekozen worden voor alternatief 3.

Hoofdstuk 4: De Spaghettigrafiek/Spaghettidiagram

4.1 Inleiding methode

Een tweede methode die gebruikt kan worden bij het bepalen van de lay-out van het magazijn is de Spaghettigrafiek/het Spaghettidiagram. Cantini, De Carlo en Tucci (2020) geven aan dat het diagram gebruikt kan worden om beslissingen te ondersteunen. Bovendien helpt het ook om een systeem efficiënter te maken door mogelijke verbeteringen in de lay-out aan te geven. Het diagram kan daarom gezien worden als een instrument voor het in kaart brengen en visualiseren van fysieke stromen van middelen (materialen, mensen, documenten, of andere) die zich binnen een entiteit verplaatsen. In het Spaghettidiagram worden er lijnen (Spaghetti) getekend die het pad weergeven dat wordt afgelegd door de middelen die zich in het systeem bewegen. Om deze bewegingen vast te leggen, wordt er gebruik gemaakt van slimme volgapparatuur zoals bijvoorbeeld een smartphone. In dit geval zullen de bewegingen binnen het magazijn in kaart gebracht worden zoals Figuur 10 weergeeft. Echter wordt het diagram niet alleen gebruikt in magazijnen, maar ook in ziekenhuizen, laboratoria, hotels, enzovoort (Cantini et al., 2020).

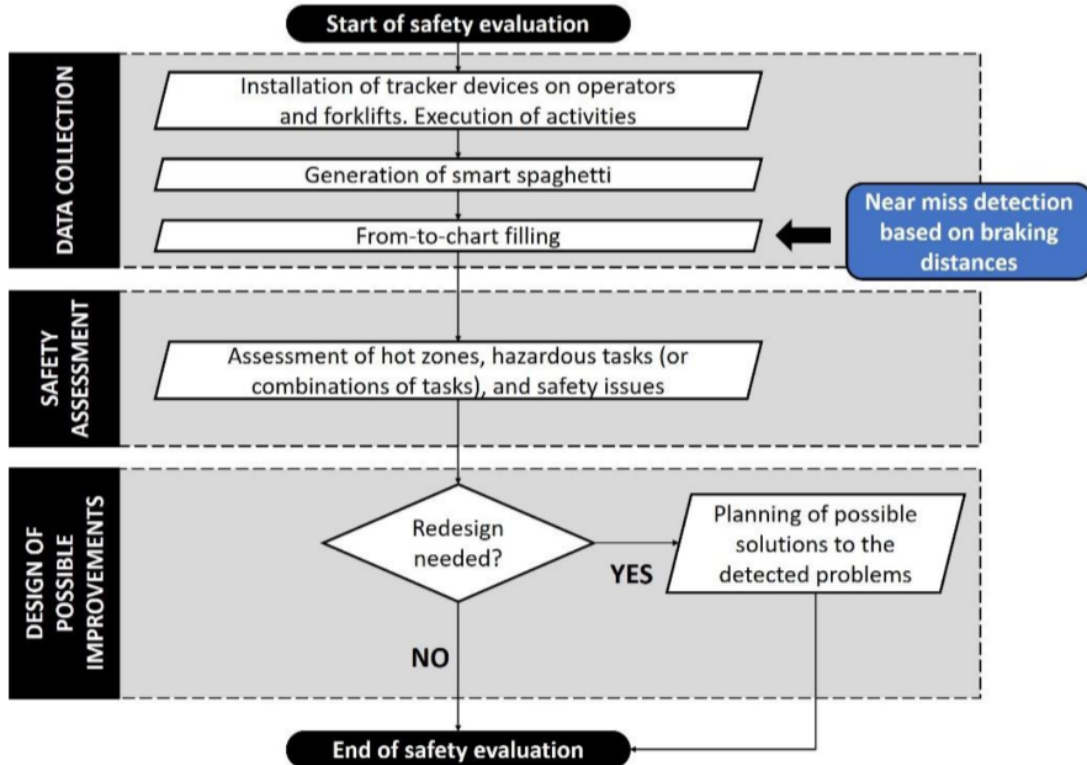


Figuur 10: Voorbeeld Spaghettidiagram (Cantini et al., 2020)

Cantini et al. (2020) geven in hun onderzoek aan dat een Spaghettigrafiek voor meerdere doeleinden kan worden gebruikt. Zo kan de grafiek gebruikt worden om de bedrijfsleider en het personeel bewuster te maken van de interne stromen van het systeem en het veiligheidsniveau, om vervolgens te benadrukken hoe het gedrag van individuen die zich binnen een controlevolume bewegen van invloed kunnen zijn op het hele bedrijf. Daarnaast kan het ook worden ingeschakeld om meer informatie te verkrijgen over drukbezochte gebieden van het systeem, wat vervolgens ook kan bijdragen naar het zoeken van de oorzaken en mogelijke oplossingen.

4.2 Werking methode

Figuur 11 geeft het stappenplan voor het opstellen van het Spaghettidiagram weer wat hieronder meer in detail wordt besproken.



Figuur 11: Stappenplan Spaghettidiagram (Cantini et al., 2020)

Stap 1: Data verzamelen

In de eerste stap van het creëren van een Spaghettidiagram, is het belangrijk om zoveel mogelijk informatie te verzamelen. Daarom is het noodzakelijk om de magazijnmedewerkers te gaan interviewen om zo te achterhalen welke activiteiten er in de faciliteit worden uitgevoerd, welke producten er in de voorraad zitten, hoe alles wordt geladen en gelost, hoe de heftrucks in zijn werk gaan en hoe de werkdagen zijn georganiseerd. Bovendien kan er ook naar de perceptie van de personeelsleden worden gevraagd omtrent de voor- en nadelen van het magazijn op het gebied van indeling, beheer en betrouwbaarheid. Wanneer de Spaghettigrafiek is gemaakt, kan deze worden vergeleken met de percepties van de werknemers om zo de overeenstemming tussen de eerste indrukken van het personeel en de werkelijke situatie te verifiëren.

Stap 2: Controlevolume bepalen

In de tweede stap zal moeten beslist wat het te analyseren controlevolume zal zijn. Dit kan een volledig magazijn zijn, maar ook slechts een deel ervan.

Stap 3: Controlemiddelen bepalen

In de derde stap moeten de te controleren middelen worden vastgesteld. Dit kunnen zowel werknemers zijn die zich te voet verplaatsen als werknemers die gebruik maken van logistieke middelen zoals een heftruck.

Stap 4: In kaart brengen van bewegingen

In de vierde stap worden de bewegingen met behulp van een slimme volgsysteem (zoals een smartwatch of een smartphone) in kaart gebracht. Dit moet herhaald worden over meerdere dagen, op verschillende uren... Dit dient te gebeuren met intelligente traceerapparatuur in plaats van handmatig diagrammen te tekenen. De reden hiervoor is dat op deze manier het personeel niet wordt gestoord, het werk niet wordt gehinderd, de stromen op schaal worden getekend en de procedure voor het samenstellen van betrouwbaarheidskaarten geautomatiseerd wordt.

Een tip voor de analyse achteraf eenvoudig te houden, is door te werken met verschillende kleuren. Elke kleur geeft bijvoorbeeld een andere werknemer voor die ook een andere taak uitoefent.

Stap 5: *from-to-chart* opstellen

In de vijfde stap wordt een *from-to-chart* ingevuld voor elke uitgevoerde inspectie. Hierbij wordt voor elke stroom geregistreerd welk middel zich heeft verplaatst (werknemer-ID), het aantal verplaatsingen, de duur van de verplaatsing, en het gebruikte vervoermiddel (voetganger of vorkheftruckchauffeur).

Daarnaast is het mogelijk om in de *from-to-chart* het optreden van "near misses" te rapporteren. Dit zijn kritieke gebeurtenissen die niet tot een botsing leiden, maar daar wel heel dichtbij zitten. Bijna-ongelukken kunnen dan worden gebruikt als indicatoren om de veiligheid van het systeem in te schatten.

Stap 6: Analyse resultaten

In de zesde en laatste stap zullen de resultaten van de Spaghettigrafiek en van de *from-to-chart* worden geanalyseerd. Gebieden waar er veel kruisingen zijn en bijna ongevallen gebeuren, worden gezien als "hot zones". In deze gebieden is het zinvol om aan de betrouwbaarheid van het magazijn te werken!

4.3 Voor- en nadelen methode

Het voordeel van deze methode is dat ze niet alleen binnen magazijnen kan gebruikt worden, maar ook in andere systemen waar veel activiteiten worden doorgevoerd. Bovendien geven Cantini et al. (2020) aan dat de methode niet enkel gebruikt kan worden voor een optimale magazijnlay-out te bekomen, maar ook om het personeel bewuster te maken van de interne stromen van het systeem en het veiligheidsniveau, om aan te tonen hoe het gedrag van het individu een invloed kan hebben op het welzijn van het bedrijf alsook om kritieke gebieden in kaart te brengen. Ten slotte kan de analyse ook gemakkelijk verschillende keren worden herhaald en kan ook worden aangetoond hoe

het veiligheidsniveau verandert vóór en na een bepaalde interventie. Echter heeft deze methode ook een aantal nadelen. Om deze methode te kunnen toepassen, zal er eerst een investering moeten gebeuren in de benodigde apparatuur alvorens de analyse kan starten. Daarnaast moet ook eerst veel informatie verzameld worden, waardoor de analyse dus niet op *real time* informatie is gebaseerd. Ten slotte geven Cantini et al. (2020) ook mee dat de kwaliteit van de oplossing erg afhankelijk is van de geleverde input (Cantini et al., 2020).

4.4 De Spaghettigrafiek/ Spaghettidiagram toegepast op een gevalstudie

Om het Spaghettidiagram beter te begrijpen, zal deze methode nu worden toegepast op een theoretische gevalstudie van Cantini et al. (2020). Het onderzoek speelt zich af binnen een farmaceutisch magazijn dat wordt bemand door 30 werknemers die afwisselend een shift van 6 uur werken. Cantini et al. (2020) geven in hun studie aan dat hoewel er al verbeteringen in het magazijn zijn doorgevoerd, er toch nog steeds problemen zijn met betrekking tot de betrouwbaarheid en het risico op botsingen tussen heftrucks, en dit vooral in de zone waar de goederen worden gelost. De bedoeling van het onderzoek is dus om te achterhalen welke gebieden en taken in het magazijn kritisch zijn en om hier vervolgens ook oplossingen voor te bedenken.

Vooraleer er zal worden overgegaan naar de resultaten die uit het onderzoek zijn voortgekomen, zal er eerst dieper ingegaan worden op de procedure van het onderzoek.

Stap 1: Data verzamelen

In de eerste stap werden de supervisors en de personeelsleden geïnterviewd. Uit deze interviews bleek dat in het magazijn zowel geneesmiddelen die klaar zijn voor te verkopen worden opgeslagen als grondstoffen zoals spuitjes, flessen,.... Daarnaast geven Cantini et al. (2020) aan dat er volgende taken plaatsvinden in het magazijn:

- a. Lossen van goederen (afgewerkte producten) die per vliegtuig aan externe klanten moeten worden geleverd;
- b. Laden van grondstoffen uit vliegtuigen die door leveranciers worden verzonden ter aanvulling van het magazijn;
- c. Lossen van goederen die per schip aan externe klanten moeten worden geleverd;
- d. Laden van goederen van schepen die door leveranciers worden verzonden;
- e. Lossen van goederen die per vrachtwagen aan externe klanten moeten worden geleverd;
- f. Laden van goederen die door leveranciers per vrachtwagen worden verzonden;
- g. Palletiseren en etiketteren;
- h. Uitladen van goederen die per vrachtwagen aan de interne klant (productie-eenheid) moeten worden geleverd;
- i. Voorbereiding van pallets voor verzending naar de interne klant;
- j. Laden van goederen in vrachtwagens van de interne klant.

Cantini et al. (2020) geven in hun onderzoek ook aan dat alle laad- en lostaken en het palletiseren worden uitgevoerd met een heftruck. Bovendien staat alles wat wordt geladen en gelost op palletten en aangezien de vrachtwagens die gebruikt worden een gekende capaciteit hebben, is het aantal palletten dat nodig is om een vrachtwagen te laden of te lossen gelijk aan de capaciteit. Dit wilt dus zeggen wanneer ze weten hoeveel palletten er moeten geladen of gelost worden, ze ook weten hoeveel bewegingen nodig zijn met de heftrucks om de taak uit te voeren (Cantini et al., 2020).

De labels en etiketten worden door de voetgangers rechtstreeks op de palletten aangebracht voordat ze worden geladen.

Stap 2: Controlevolume bepalen

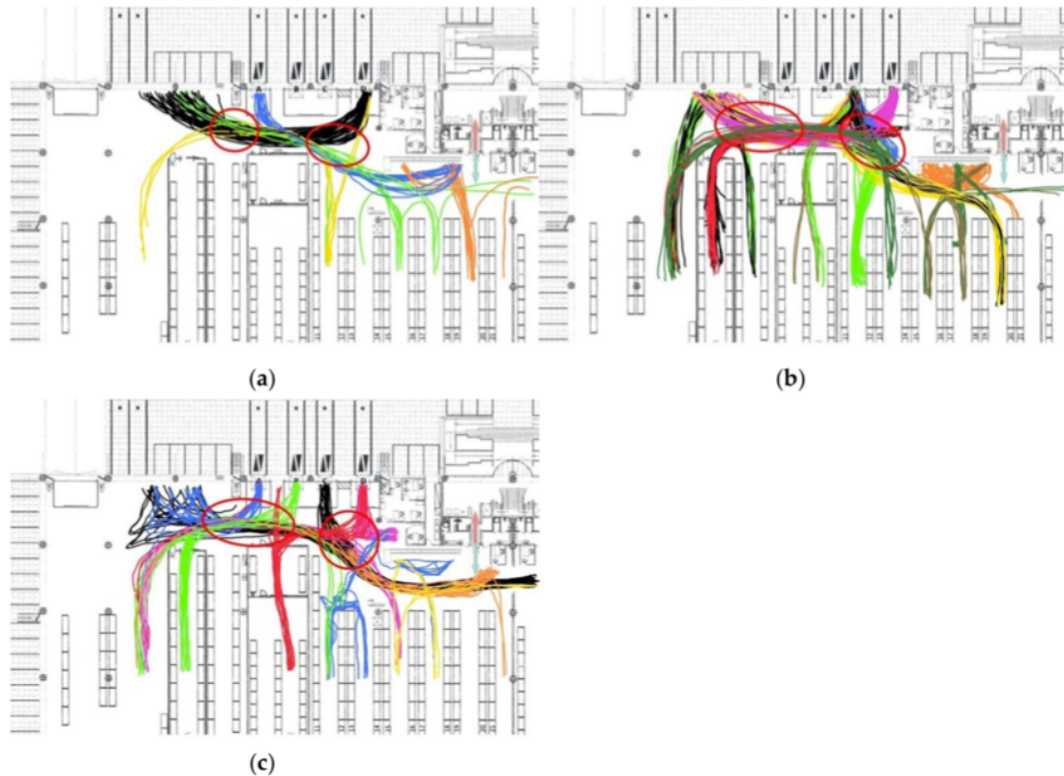
In de tweede stap hebben Cantini et al. (2020) moeten beslissen wat het te analyseren controlevolume zal zijn. Zij hebben hiervoor het gebied in het magazijn gekozen dat wordt gebruikt voor het lossen van goederen gezien hier de supervisor kritieke punten detecteert. Om deze reden zijn de activiteiten b, d, f en j buiten de analyse van Cantini et al. (2020) gehouden.

Stap 3: Controlemiddelen bepalen

In de derde stap moeten de te controleren middelen worden vastgesteld. In deze analyse zijn dat zowel de voetgangers die de palletten labelen en de etiketten erop plakken, als de bewegingen die de heftrucks maken om de vrachtwagens te lossen.

Stap 4: In kaart brengen van bewegingen

In de vierde stap worden de bewegingen van de heftrucks en van de voetgangers door middel van een Spaghettidiagram in kaart gebracht. De werknemers en de heftrucks krijgen als volgapparatuur een smartphone. In de studie van Cantini et al. (2020) wordt er gedurende 3 dagen een analyse uitgevoerd die elk ongeveer 4 uur duurt. Bij het traceren van de bewegingen werden verschillende kleuren gebruikt om de tracker-ID's te kunnen onderscheiden, die ook op Figuur 12 te zien zijn.



Figuur 12: De Spaghettidiagrammen voor dag A, B en C (Cantini et al., 2020)

Stap 5: *from-to-chart* opstellen

In de vijfde stap wordt op basis van de geregistreeerde bewegingen een *from-to-chart* gemaakt dat is weergegeven in Tabel 9. Cantini et al. (2020) geven in hun onderzoek mee dat om aan elke beweging informatie te kunnen koppelen die verband houdt met de uitgevoerde taak, de centrale punten van de structuur, zoals de labelinghal, de wachthal en de uitstroomdeuren (A, B, C, en D) omsloten worden door rechthoeken. Daarnaast heeft het IT-team informatie verzameld over de dagelijkse bestellingen, geplande activiteiten en het aantal ritten dat nodig was om elke vrachtwagen te vullen. Tot slot werd elke route geassocieerd met de uitgevoerde taak, door te observeren hoe vaak de trackers binnen elke rechthoek werden geplaatst en hoelang de bewegingen duurden.

Bovendien geven Cantini et al. (2020) in hun studie aan dat ze voor elke stroom de volgende gegevens hebben achterhaalt: ID van de werknemer, arbeidstijd, beschrijving van de uitgevoerde taak, aantal bewegingen, type beweging ("O" alleen enkele reis, "R" alleen retour of beide "O + R"), gebruikt vervoermiddel ("P" voetganger of "F" vorkheftruckchauffeur) en detectie van kritieke punten ("x" wordt gebruikt om stromen aan te geven die een bijna-ongeluk genereerden). De laatste kolom van de tabel geeft nog een aantal opmerkingen weer ter verduidelijking.

Vervolgens zijn Cantini et al. (2020) aan de hand van de inhoud van de *from-to-chart* nagegaan of tijdens de controles alle magazijnactiviteiten meermaals werden geanalyseerd om er zeker van te zijn dat er voldoende inspecties werden verricht.

Tabel 9: From-to-chart (Cantini et al., 2020)

Worker ID	StartTime	End Time	Task	N° of Repetitions	Type of Movement	Means of Transport	Near Miss	Comments
9	10:50	11:10	Pallet loading on the truck (door C)	8	O + R	F		The first three activities of this table are simultaneous but do not cause collision risks
1	10:56	11:03	Thermal blankets are taken to cover medicines that need to be shipped while remaining at a controlled temperature	4	O + R	P		
1	10:57	11:04	Withdrawal of raw materials for internal customer	4	O + R	F		
5	11:41	11:09	Pallet preparation for internal customer	3	O + R	F	x	Workers 17 and 3 generated a near miss
3	11:42	11:06	Pallet preparation for internal customer	2	O + R	F	x	

Stap 6: Analyse resultaten

In de zesde en laatste stap zullen de resultaten van de Spaghettigrafiek en van de *from-to-chart* worden geanalyseerd. Zoals te zien is op Figuur 12, zijn er een twee zones die rood omcirkeld zijn. Deze zones zijn de "hot zones" en zijn dus gebieden waar bijna-ongelukken werden waargenomen en waar intense stromen werden geregistreerd.

Het eerste gebied is het gebied tussen de wachtruimte en koelruimte 1 (linkse cirkel). Cantini et al. (2020) geven aan dat in het gebied grondstoffen worden opgestapeld die naar de interne klant moeten worden verzonden. Hierdoor blijven ze ruimte in beslag nemen en neemt de kans op een bijna-ongeluk toe. Het grote volume aan materiaal op de grond is volgens de onderzoekers dan ook een van de oorzaken van de inefficiëntie van het magazijn en dit maakt de processen onveilig en zeer tijdrovend.

Het andere gebied is het gebied voor de losdeuren C en D. Cantini et al. (2020) geven aan dat in dit gebied de palletiseer- en etiketteerbewerkingen plaatsvinden en hier ook de meeste vrachtwagentransporten worden uitgevoerd. Zelfs in dit gebied blijven vorkheftrucks en personeel ruimte innemen, waardoor de kans op botsingen toeneemt.

Conclusie

Cantini et al. (2020) concludeerden dat de mening van de supervisor ook klopte met de realiteit. Ondanks de aanwezigheid van spiegels en bewakers kan de betrouwbaarheid van het magazijn worden verbeterd! Aan de hand van de het Spaghettidiagram en de *from-to-chart* was het voor de ploegbaas mogelijk om de problemen van de structuur aan zijn baas te beschrijven.

Zoals aan het begin al is aangehaald, waren er heel wat camera's geïnstalleerd om de grondstofstromen te observeren. Aan de hand van deze beelden, werd de doeltreffendheid van de

vooropgestelde aanpak verkregen. Ook werden hiermee de geïdentificeerde bijna-ongevallen en *hot areas* bevestigd. Daarnaast werden ook de oorzaken van de bijna-ongevallen en de aard van de risicovolle taken bevestigd.

Vervolgens haalden Cantini et al. (2020) aan dat *hot areas* en bijna-ongevallen zich voordoen in zones die worden gekenmerkt door beperkte doorgangsruidten en logistieke oppervlakken. Soms riskeren de vorkheftrucks botsingen en worden de goederenstromen vertraagd (of zelfs geblokkeerd) door de aanwezigheid van obstakels op hun weg. Daarnaast geven Cantini et al. (2020) aan dat uit de database van het bedrijf blijkt dat de statische capaciteit van het magazijn momenteel volledig wordt benut, waardoor het niet mogelijk is om het aantal palletplaatsen te verminderen.

Cantini et al. (2020) gaven een aantal suggesties die kunnen bijdragen aan een betere magazijnlay-out. Zo hebben zij ten eerste het bedrijf aanbevolen om de re-palletisatieruimte te verplaatsen naar een minder drukbezocht deel van het magazijn. Vervolgens hebben zij ook aangehaald dat het zinvol zou zijn om hun magazijnindeling aan te passen. Dit kunnen ze doen door een meer uniform gebruik van de beschikbare oppervlakte, maar ook door het creëren van extra ruimte in de kritieke gebieden door verplaatsing of eliminatie van enkele schappen. Daarnaast gaven Cantini et al. (2020) ook de aanbeveling om een nieuw laadperron te openen voor luchtvracht in een ander deel van het magazijn en/of het laadperron voor interne ordervoorbereiding en bevoorrading te verplaatsen. Een laatste aanbeveling die Cantini et al. (2020) aan het bedrijf meegaven, is het instellen van een eenrichtingsverkeer.

Hoofdstuk 5: Het Facility Layout Problem

5.1 Inleiding methode

Een andere veelgebruikte methode voor het bepalen van de lay-out van een faciliteit is die van Slack, Chambers en Johnston (2010). Echter is er wel een beperking aan deze methode. Namelijk het feit dat deze methode tot op heden enkel wordt toegepast in de productie context en nog niet in de magazijn context. Om tot een optimale magazijnlay-out te komen, maken Slack et al. (2010) een onderscheid tussen vier verschillende basis lay-outtypes. Deze zijn de *fixed-position layout*, de *functional layout*, de *cell layout* en de *product layout*.

1. *Fixed-position layout*

Bij de *fixed-position layout* zullen de apparatuur, machines, installaties en mensen die de verwerkingen uitvoeren zich verplaatsen wanneer nodig. De ontvanger van de verwerkende handelingen staat stil. Dit kan zijn omdat het product of de ontvanger van de dienst te groot is om te verplaatsten, te delicaat is om te worden verplaatst of gewoonweg bezwaar heeft om te worden verplaatst (Slack et al., 2010). Denk bijvoorbeeld aan de bouw van een huis. Al het materiaal zal dan ook naar die locatie worden gebracht. Er zijn een aantal dingen die vooraf kunnen gebeuren, maar daarna moet alles wat nodig is naar die locatie gebracht worden (Braekers, 2021). Een ander voorbeeld is een restaurant. Klanten gaan zich niet verplaatsen naar de plaats waar het eten wordt bereid, maar ze willen dat het eten tot bij hun aan tafel wordt gebracht (Slack et al., 2013). De productie wordt hier gezien als een soort project waardoor deze methode ook wel de *project layout* wordt genoemd (Jacobs & Chase, 2020).

2. *Functional layout*

Bij *functional layout* worden gelijksoortige middelen of processen bij elkaar geplaatst. Een mogelijke reden hiervoor kan zijn dat het handig is om ze samen te groeperen of dat het gebruik van transformerende middelen op die manier wordt verbeterd (Slack et al., 2010). Bij deze lay-out is er typisch een locatie waar er wordt geproduceerd. Deze locatie wordt dan onderverdeeld in verschillende workcenters of departementen. Elk departement heeft zijn eigen functie (Jacobs & Chase, 2020). Stel dat je een meubelfabrikant bent, dan heb je 1 afdeling waar het hout binnen komt, 1 waar het wordt behandeld, 1 waar gaten worden gemaakt, 1 waar de scharnieren er aan worden gezet,... . Het product gaat doorheen de verschillende afdelingen. Dit soort lay-out wordt daarom ook wel een *job-shop layout* genoemd (Braekers, 2021).

3. *Cell layout*

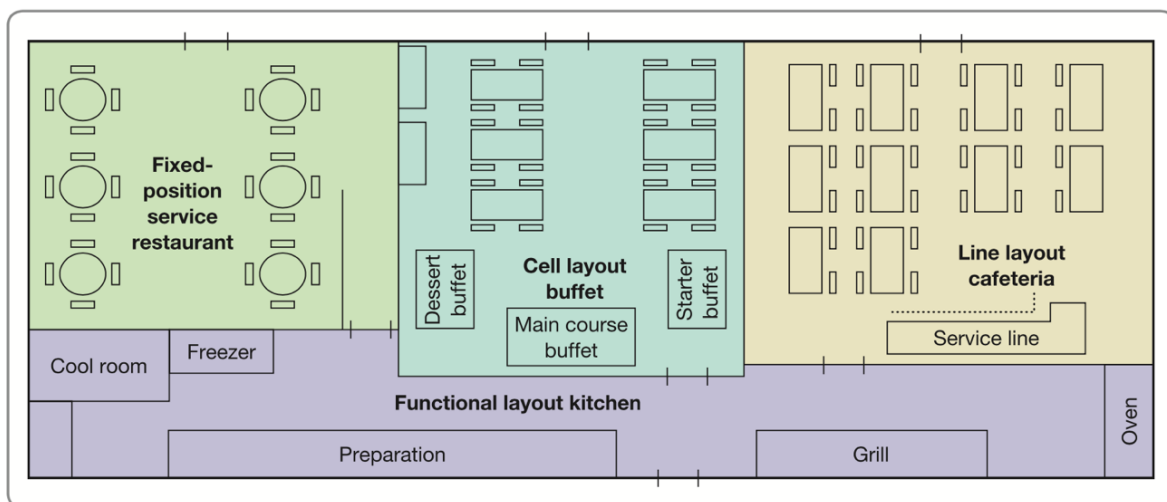
Bij de *cell layout* worden geen workcenters gecreëerd met elk hun eigen functie, maar wel *workcells*. Hierbij is elke cel verantwoordelijk voor het maken van een onderdeel van het product. Binnen 1 cel zijn dus verschillende machines nodig. Er moeten hier verschillende dingen gedaan worden om 1 onderdeel te kunnen maken. Binnen 1 cel bevindt er zich dus een kleine assemblagelijijn. Gezien de producten binnen de cel blijven, moeten ze niet zoveel afstand afleggen. Een voorbeeld van een *cell layout* is de assemblage van een stoel, waarbij in de ene cel de poten worden gemaakt, in een

andere cel het zitvlak, in nog een andere cel de leuning enzovoort (Braekers, 2021). Slack et al. (2013) geven in hun onderzoek nog een ander voorbeeld aan. Zij passen de *cell layout* toe op de zone voor "lunch"-producten in de supermarkt. Sommige klanten gaan naar de supermarkt om enkel hun lunch te kopen. Ze kopen hierbij vaak broodjes, snacks, gekoelde dranken,... Daarom gaan ze deze producten dicht bij elkaar plaatsen zodat de klanten die enkel lunch komen kopen niet de hele winkelen moeten doorzoeken.

4. *Product layout*

Product layout houdt in dat de transformerende middelen volledig worden gelokaliseerd voor het gemak. Elk product, elk stuk informatie of elke klant volgt een vooraf uitgestippelde route waarbij de volgorde van de vereiste activiteiten overeenstemt met de volgorde waarin de processen zijn gelokaliseerd. De getransformeerde middelen "stromen" als een "lijn" door het proces. Daarom wordt dit type lay-out ook wel *flow- of lijnlay-out* genoemd (Slack et al., 2010). Denk hier bijvoorbeeld aan de assemblagelijnen van auto's (Braekers, 2021). Ook de zelfbedieningscafeteria's zijn op deze manier ingedeeld. Over het algemeen is hier de volgorde van de producten gelijk aan de eisen van de klant. Zo zal je eerst de voorgerechten vinden, dan de hoofdgerechten en later pas de desserts en drankjes (Slack et al., 2013).

Figuur 13 toont aan dat een entiteit zich op verschillende manieren kan organiseren. Zo kan een er binnen een restaurant gebruik gemaakt worden van de vier lay-outtypes.



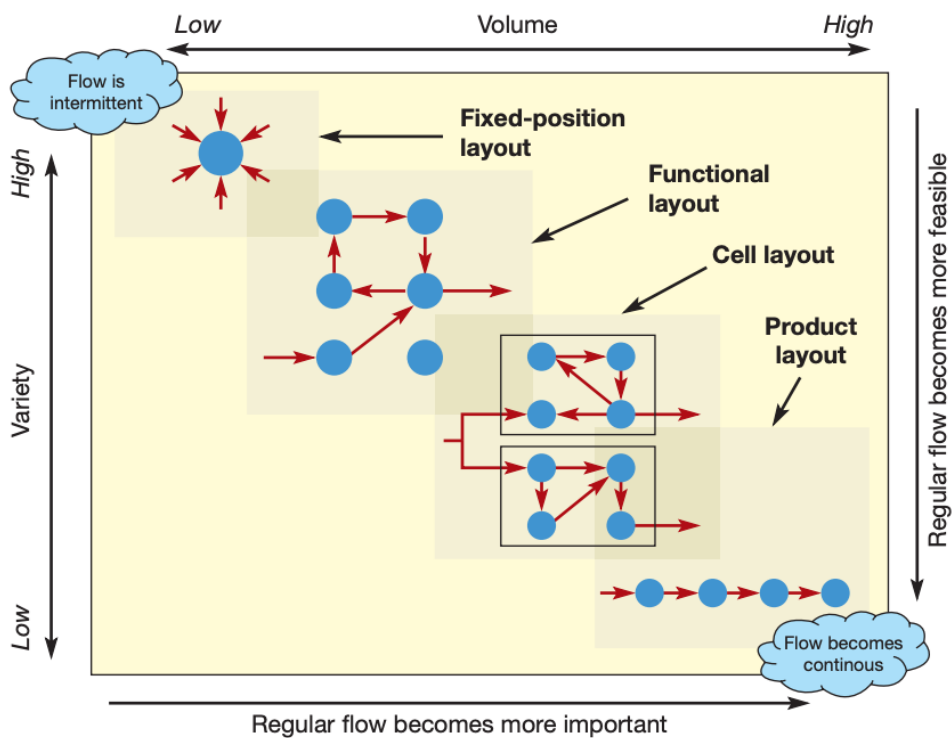
Figuur 13: De vier verschillende lay-outtypes toegepast binnen de restaurantscontext (Slack et al., 2013)

Het is voor bedrijven niet altijd even eenvoudig welke lay-out zij nu best kunnen hanteren. Er bestaat namelijk een overlap tussen verschillende lay-outs, wat wijst op een combinatie van lay-outs. Dit wordt ook wel "*mixed layout*" genoemd (Braekers, 2021). Een ziekenhuis bijvoorbeeld zou normaal gesproken worden ingericht volgens functionele lay-out principes, waarbij elke afdeling een bepaald type proces vertegenwoordigt (de röntgenafdeling, de operatiekamers, het laboratorium,...). Maar binnen elke afdeling worden heel verschillende indelingen gebruikt. De röntgenafdeling is

waarschijnlijk ingedeeld in een functionele lay-out, de operatiekamers in een lay-out met vaste posities en het labo in een productlay-out (Slack et al., 2010).

Welke lay-out wanneer kiezen?

Om een antwoord op te kunnen geven op bovenstaande vraag, moet er eerst en vooral gekeken worden naar de doorstroming binnen het bedrijf. Hoe belangrijk de doorstroming voor een bedrijf is, hangt af van het volume en de variëteit van de producten binnen het bedrijf. Wanneer het volume zeer laag is en de variëteit aan producten relatief hoog, is "flow" geen belangrijk punt. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de bouw van een boot. In deze situaties wordt geopteerd om gebruik te maken van een *fixed-position layout*. Wanneer daarentegen het volume hoog is en de variëteit van de producten laag, is de "flow" wel belangrijk. In dit geval zal sneller geopteerd worden om een *product layout* te hanteren. Denk hierbij aan de assemblagelijnen voor de productie van auto's (Slack et al., 2010).



Figuur 14: Relatie tussen variantie en volume op de lay-out (Slack et al., 2013)

Om dus te achterhalen welke lay-out het meest geschikt is voor jouw faciliteit, moet er zoals Figuur 14 weergeeft, gekeken worden naar het volume en de variëteit van de activiteit. Vaak is het zo dat de keuze in grote mate beperkt wordt tot één of twee indelingsopties. Welk lay-outtype uiteindelijk wordt gekozen, wordt beïnvloed door de voor- en nadelen van elk lay-outtype. In Tabel 10 staan de belangrijkste voor- en nadelen van elk lay-outtype opgesomd.

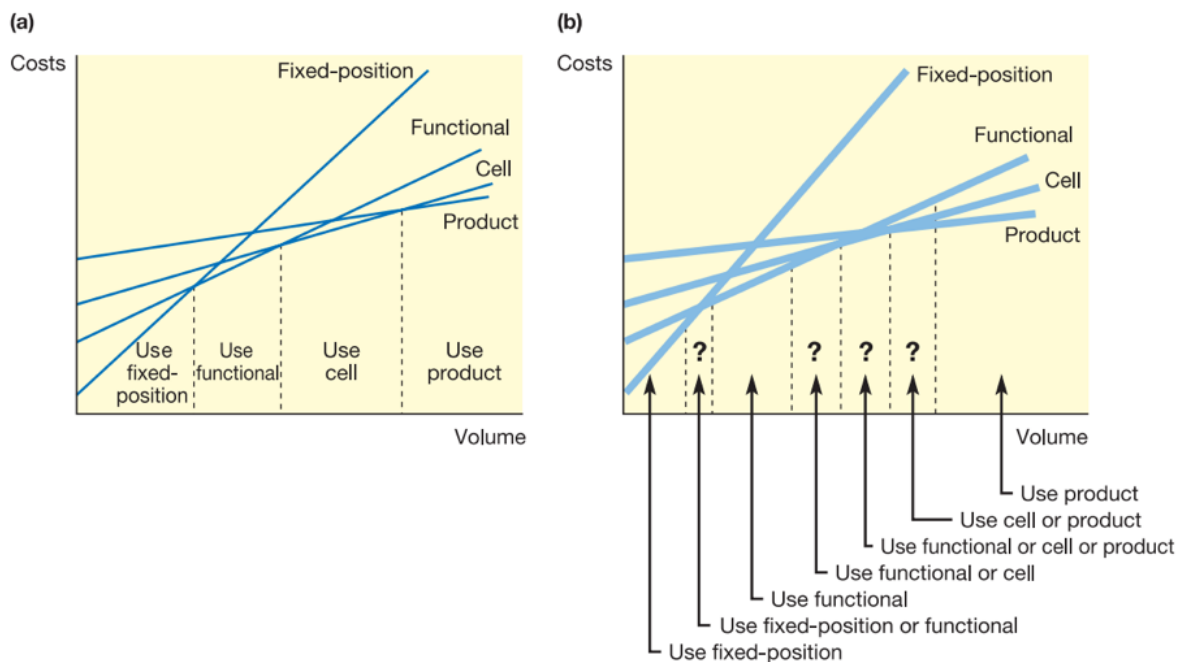
Tabel 10: Voor- en nadelen van de verschillende lay-outs (gebaseerd op Slack et al., 2010)

Lay-out	Voordelen	Nadelen
<i>Fixed-position layout</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Zeer hoge mix- en productflexibiliteit ○ Product of klant niet verplaatst of verstoord ○ Grote verscheidenheid aan taken voor het personeel 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Zeer hoge eenheidskosten ○ Planning van ruimte en activiteiten kan moeilijk zijn ○ Kan veel verplaatsing van installaties en personeel betekenen
<i>Functional layout</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Hoge mix- en productflexibiliteit ○ Relatief robuust in geval van verstoringen ○ Relatief eenvoudig toezicht op apparatuur of installaties 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Lage bezettingsgraad van faciliteiten ○ Kan zeer hoge wachtrijen hebben van klanten en half afgewerkte producten ○ Complexe stroom kan moeilijk te controleren zijn
<i>Cell layout</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Kan een goed compromis bieden tussen kosten en flexibiliteit voor relatief hoog aantal operaties ○ Snelle doorvoer ○ Groepswork kan leiden tot goede motivatie 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Kan kostbaar zijn om bestaande lay-out te herschikken ○ Kan meer installaties en uitrusting vergen ○ Kan een lagere bezettingsgraad van de installaties geven
<i>Product layout</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Lage eenheidskosten voor hoog volume ○ Geeft mogelijkheden voor specialisatie van uitrusting ○ Verplaatsing van materiaal of klanten is gemakkelijk 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Kan een lage mixflexibiliteit hebben ○ Niet erg robuust in geval van verstoring ○ Werk kan zeer repetitief zijn

Echter is het ook zo dat bij het maken van de keuze van een bepaald lay-outtype er ook wordt gekeken naar de kosten per eenheid. Hierbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen de vaste kosten en de variabele kosten per lay-outtype. Met de vaste kosten worden de kosten bedoeld voor de opstelling van een fysieke constructie. Deze kosten kunnen worden afgeleid uit Figuur 15 door te kijken naar het snijpunt van de grafieken met de y-as. Uit Figuur 15 kan worden geconcludeerd dat de vaste kosten zullen toenemen naarmate er wordt overgegaan van een vaste opstelling, via functionele en celopstellingen, naar productopstellingen. De variabele kosten daarentegen zijn de kosten voor de productie van elk product of dienst afzonderlijk. De variabele kosten per product of dienst worden weergegeven door de procentuele stijging van de verschillende curves. Figuur 15

geeft dan ook weer dat de variabele kosten zullen dalen naarmate er wordt overgegaan van een vaste opstelling, via functionele en celopstellingen, naar productopstellingen.

De totale kosten voor elk lay-outtype daarentegen worden weergegeven door de vier curves en hangen af van het volume van de geproduceerde producten of diensten. Echter toont Figuur 15(b) aan dat het in de praktijk niet altijd even eenvoudig is. Zo verwijzen de plaatsen met een vraagteken naar twee of meer lay-outtypes, en zal er dus verder moeten gekeken worden dan enkel de kosten om hier een keuze te kunnen maken. De keuze van een bepaald lay-outtype zal dus niet enkel afhangen van de kosten, maar ook van andere factoren zoals eerder is aangehaald (Slack et al., 2013).



Figuur 15: Keuze lay-outtype beïnvloedt door kosten per eenheid (Slack et al., 2013)

5.2 Werking methode

Zoals eerder al is aangehaald maken Slack et al. (2010) een onderscheid tussen vier verschillende lay-outtypes. Elke lay-outtype heeft dan ook een eigen oplosmethode, die hieronder besproken zal worden.

5.2.1 Fixed-position layout

Gedetailleerd ontwerp

In dit soort lay-out wordt de plaats van de middelen niet bepaald op basis van de stroom van de getransformeerde middelen, maar wel op basis van het gemak van de getransformeerde middelen. Het gedetailleerde ontwerp van de *fixed-position layout* heeft als doel om een indeling te bereiken die alle transformerende middelen in staat stelt hun bijdrage aan het transformatieproces te maximaliseren. Dit wordt mogelijk door hen in staat te stellen een doeltreffende "dienst" te verlenen

aan de getransformeerde middelen. Echter kan het in sommige gevallen zeer ingewikkeld zijn om een gedetailleerde lay-out op te stellen. Denk hierbij aan situaties waarbij het schema van de geplande activiteiten vaak wisselt. Hoewel er heel wat technieken bestaan om middelen op vaste plaatsen te lokaliseren, worden deze niet op grote schaal gebruikt en zal er hier daarom ook niet verder op ingegaan worden (Slack et al., 2010).

5.2.2 Functional layout

Gedetailleerd ontwerp

Voor dit soort lay-out is een gedetailleerd ontwerp zeer complex. De reden hiervoor is dat er een zeer groot aantal opties zijn wanneer er met meerdere werkcentra wordt gewerkt. Om dit te verduidelijken, halen Slack et al. (2010) volgend voorbeeld aan: In het eenvoudigste geval waarbij er maar slechts twee werkcentra zijn, zijn er slechts twee manieren om deze ten opzichte van elkaar te rangschikken. Maar indien het bedrijf werkt met vijf centra, zijn er al 120 manieren om deze te rangschikken.

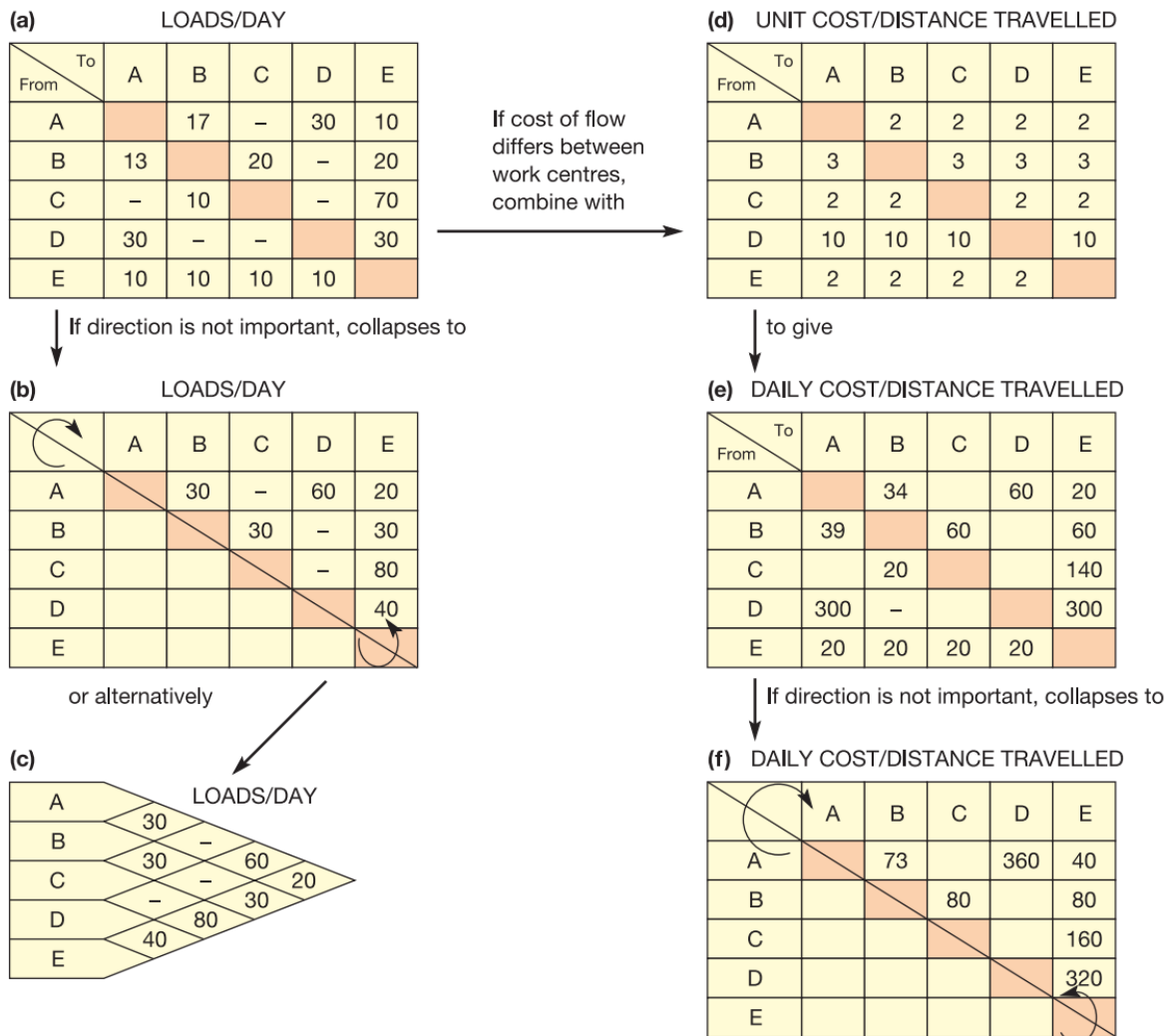
Concreet

Voor N punten zijn er factorieel N ($N!$) verschillende manieren om de punten te rangschikken, waarbij: $N! = N \times (N - 1) \times (N - 2) \times \dots \times (1)$

Dit is dan ook de reden waarom het in de praktijk zo complex is om alle middelen te gaan toewijzen aan een bepaalde locatie. Slack et al. (2010) halen daarom in hun onderzoek aan dat de meeste functionele indelingen gebeuren op basis van gevoel, gezond verstand en systematisch vallen en ontstaan.

Benodigheden voor gedetailleerd ontwerp

Alvorens de ontwerper kan beginnen met het gedetailleerde ontwerp in *functional layouts*, is er nog wat informatie noodzakelijk. Zo heeft de ontwerper informatie nodig over de oppervlakte die elk werkcentrum nodig heeft; de beperkingen voor de vorm van het gebied toegewezen aan elk werkcentrum; de mate en richting van doorstroming tussen elk werkcentrum (bijvoorbeeld, aantal ritten, aantal ladingen of kosten van de stroom per afgelegde afstand) en de wenselijkheid van werkcentra die dicht bij elkaar liggen of dicht bij een vast punt in de lay-out. Vaak wordt er gebruik gemaakt van een *flow record chart*, zoals te zien is op Figuur 16(a), om de frequentie en de richting van de stromen weer te geven. Hierin kunnen bijvoorbeeld het aantal ladingen dat tussen de afdelingen worden getransporteerd geregistreerd worden (Slack et al., 2010). Figuur 16(b) geeft aan dat de wanneer de richting van de stroom tussen de werkcentra weinig verschil maakt voor de indeling, de informatie kan worden samengevoegd. Figuur 16(c) is hier een alternatieve notatie voor. Het is mogelijk dat er verschillen zijn in kosten voor het verplaatsen van mensen of materialen tussen verschillende werkcentra, daarom worden op Figuur 16(d) de eenheidskosten voor het vervoer van een lading tussen de verschillende werkcentra weergegeven. Figuur 16(e) is een combinatie tussen Figuur 16(a) en Figuur 16(d). Deze geeft de kosten per afgelegde afstand weer. Ten slotte worden deze gegevens, net zoals bij Figuur 16(b) is gebeurd, samengevoegd en wordt Figuur 16(f) verkregen (Slack et al., 2010).



Figuur 16: Verzameling informatie in functional layout (Slack et al., 2013)

Het doel van het gedetailleerde ontwerp

Slack et al. (2010) geven in hun onderzoek aan dat het vaak zo is dat het doel in een faciliteit met een *functional layout* het minimaliseren van de kosten is. Vaak kunnen de kosten worden geminimaliseerd door de afstand te minimaliseren. De doeltreffendheid van de lay-out kan berekend worden door volgende formule:

De doeltreffendheid van de lay-out = $\sum F_{ij} D_{ij}$ voor elke $i \neq j$

waarbij

F_{ij} = de stroom in ladingen of ritten per tijdsperiode van werkcentrum i naar werkcentrum j ,

D_{ij} = de afstand tussen werkcentrum i en werkcentrum j .

Hoe lager deze score is, hoe beter de lay-out is.

In voorgaande berekeningen wordt ervan uitgegaan dat alle ritten gelijk zijn. Dit wilt zeggen dat de kosten voor het bedrijf gelijk zijn. Dit is echter vaak niet altijd het geval. In deze gevallen wordt een kosten- (of moeilijkheids-) element opgenomen in de meting van de lay-out-effectiviteit:

De doeltreffendheid van de lay-out = $\sum F_{ij} D_{ij} C_{ij}$ voor elke $i \neq j$

waarbij

F_{ij} = de stroom in ladingen of ritten per tijdsperiode van werkcentrum i naar werkcentrum j ,

D_{ij} = de afstand tussen werkcentrum i en werkcentrum j ,

C_{ij} = de kostprijs per afgelegde afstand van een traject tussen de afdelingen i en j .

Oplossingsmethode voor het ontwikkelen van een functional layout

Slack et al. (2010) beschrijven de algemene benadering voor het bepalen van de locatie van werkcentra in een *functional layout* is als volgt:

Stap 1: Verzamelen van informatie

In de eerste stap moet zoveel mogelijk informatie verzameld worden met betrekking tot de werkcentra en de stromen ertussen.

Stap 2: Opstellen van een schematische indeling van de werkcentra en de onderlinge doorstroming

In de tweede stap moet een schematische indeling van de werkcentra en de onderlinge doorstroming worden gemaakt, waarbij de werkcentra met de grootste doorstroming het dichtst bij elkaar worden geplaatst.

Stap 3: Beperkingen in rekening nemen

In de derde stap moet de schematische indeling aangepast worden door rekening te houden met de beperkingen van het gebied.

Stap 4: Indeling bepalen

In de vierde stap moet de indeling met de werkelijke werkcentrumzones en de afstanden die materialen of klanten moeten afleggen worden getekend. Vervolgens moet de doelmatigheid van de indeling als totale afgelegde afstand of als de kosten van de verplaatsing worden berekend.

Stap 5: Lay-out evalueren

In de vijfde en laatste stap moet er nagegaan worden of het omwisselen van werkcentra de totale afgelegde afstand of de verplaatsingskosten zal doen dalen. Zo ja, voer dan de uitwisseling uit en keer terug naar stap 4. Zo niet, maak dit de definitieve indeling.

Indien de situatie zo complex is dat deze algemene aanpak niet volstaat, geven Slack et al. (2010) in hun onderzoek aan dat de ontwerper beroep kan doen op heuristische procedures ter ondersteuning. Deze heuristieken geven geen optimale oplossingen, maar trachten een goede suboptimale oplossing af te leiden. Deze heuristische procedures kunnen onder andere via computerprogramma's worden uitgevoerd (Slack et al., 2010).

5.2.3 Cell layout

Gedetailleerd ontwerp

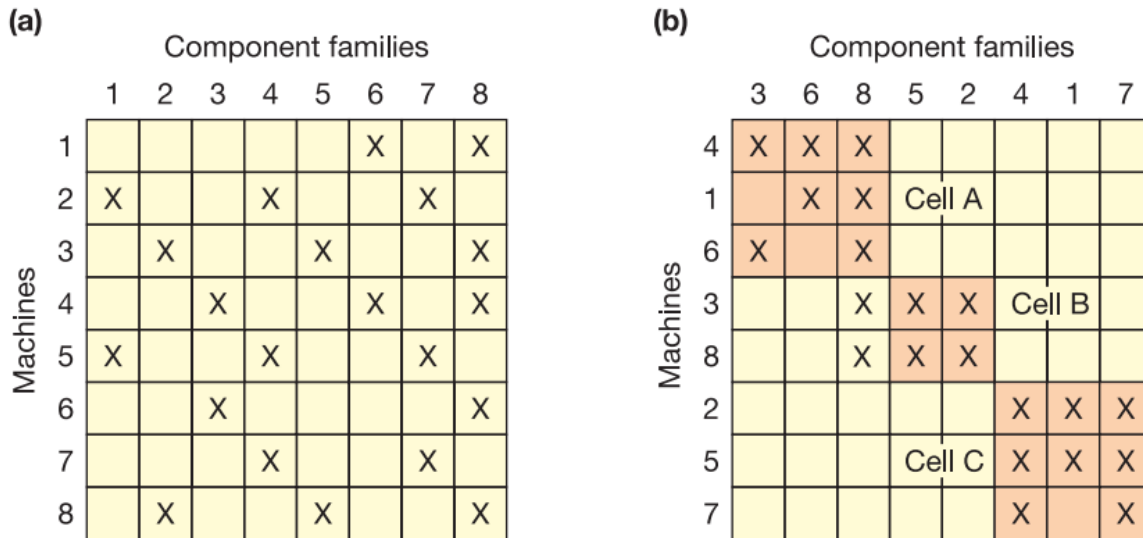
Zoals eerder ook is aangehaald, zal er wanneer de *cell layout* voor een faciliteit wordt geopteerd, een functionele indeling gebeuren in een aantal cellen. Deze cellen zullen dan middelen hebben om samen aan een bepaald product of onderdeel te kunnen werken. Om zo een *cell layout* te verkrijgen, geven Slack et al. (2010) in hun onderzoek wel aan dat de ontwerper beslissingen zal moeten nemen over zowel de aard en de omvang van de cellen als welke middelen aan welke cellen worden toegewezen. Het gedetailleerde ontwerp van de *cell layout* is echter niet zo eenvoudig. De reden hiervoor is dat de cel zelf een combinatie is van proces- en productlay-out. Om het voor de ontwerper eenvoudiger te maken, moet hij beslissen om ofwel zich te concentreren op de procesaspecten ofwel op het productaspecten.

Oplossingsmethode voor het ontwikkelen van een cell layout

Wanneer de ontwerper beslist om zich te concentreren op de processen, kan hij/zij gebruik maken van de clusteranalyse om te achterhalen welke processen zich op een natuurlijke wijze groeperen. Om dit te kunnen doen wordt elk type proces onderzocht en wordt er nagegaan welke andere soorten processen een bepaald product of onderdeel waarschijnlijk ook nodig zullen hebben. Een mogelijke benadering die hiervoor gebruikt kan worden is de analyse van de productiestroom (*product flow analysis*, PFA). Deze benadering gaat zowel naar de productvereisten als de procesgroepering kijken (Slack et al., 2010). Figuur 17 geeft zo een PFA weer bij een willekeurig bedrijf. Het bedrijf heeft een onderscheid gemaakt tussen de onderdelen die ze maken (de componentfamilies) en de machines die voor elk onderdeel nodig zijn. Zo geeft Figuur 17(a) bijvoorbeeld weer dat voor onderdeel 1 machine 2 en 5 nodig zijn. In Figuur 17(b) worden de rijen en kolommen zodanig verschoven dat de kruisjes zo dicht mogelijk bij de diagonaal van de matrix komen te liggen. Uit Figuur 17(b) kan een duidelijk patroon worden waargenomen. Dit patroon geeft weer dat de machines makkelijk kunnen worden gegroepeerd in drie cellen, die weergegeven worden door de oranje vierkanten (Slack et al., 2010).

Echter is deze analyse niet volledig correct. Wanneer je kijkt naar componentfamilie 8, zie je dat hiervoor machine 4, 1, 6, 3 en 8 nodig zijn. Machine 4, 1 en 6 zijn toegewezen aan cel A, terwijl machine 3 en 8 zijn toegewezen aan cel B. Een mogelijke oplossing voor dit probleem is dat er meer machines worden aangeschaft en deze in cel A worden geplaatst. Zo kan componentfamilie 8 volledig worden geproduceerd in cel A. Een andere oplossing is dat het component/onderdeel eerst de machines in cel A doorloopt en dan overgaat naar cel B om daar verder te worden afgewerkt. Een

derde en laatste mogelijk oplossing die kan worden gehanteerd, is het implementeren van een speciale cel, de restcel (Slack et al., 2010).



Figuur 17: Analyse van de productiestroom bij een willekeurig bedrijf (Slack et al., 2013)

5.2.4 Product layout

Gedetailleerd ontwerp

In vergelijking met eerdere *layout formats* wordt er bij de *product layout* niet gekeken naar waar wat wordt geplaatst, maar eerder naar wat waar wordt geplaatst. Zo worden er vaak beslissingen genomen over de locaties en wordt er vervolgens gekeken welke werktaken aan welke locatie worden toegewezen.

Oplossingsmethode voor het ontwikkelen van een product layout

Om het ontwerp van de *product layout* te kunnen maken, moet er volgens Slack et al. (2010) eerst een antwoord wordt gegeven op volgende vragen:

- Welke cyclustijd is er nodig?
- Hoeveel fases zijn er nodig?
- Hoe moet worden omgegaan met de variatie in de taaktijd?
- Hoe moet de lay-out worden gebalanceerd?

Stap 1: Berekenen van de cyclustijd

Met de cyclustijd wordt volgens Slack et al. (2010) de tijd bedoeld die nodig is om één product/onderdeel/component volledig af te werken. Een cyclustijd van 50 seconden betekent dat om de 50 seconden een product volledig klaar is. De cyclustijd wordt berekend door rekening te houden met de productietijd die beschikbaar is in een bepaalde periode en de vereiste output voor die periode.

De cyclustijd per dag wordt als volgt berekend:

$$C = \frac{\text{Productietijd per dag}}{\text{Vereiste output per dag (in eenheden)}}$$

Stap 2: Berekenen van het aantal fases

Deze beslissing hangt af van de vereiste cyclustijd die nodig is en de totale hoeveelheid werk die met de productie van het product of de dienst gepaard gaat. Dit laatste gegeven wordt volgens Slack et al. (2010) de totale werkinhoud genoemd. Hoe groter de totale werkinhoud en hoe kleiner de vereiste cyclustijd, hoe meer fases er vereist zijn.

$$\text{Aantal stappen/fases} = \frac{\text{totale werkinhoud}}{\text{Vereiste cyclustijd}}$$

Stap 3: Omgaan met de variatie in de taaktijd

Om dit uit te kunnen leggen, halen Slack et al. (2010) volgend voorbeeld aan: Stel dat de verwerking van een hypotheek bestaat uit vier stappen, die elk een kwart van de totale werkinhoud voor hun rekening nemen en om de vijftien minuten de documentatie wordt doorgegeven aan de volgende stap. In de praktijk zal deze stroom niet zo regelmatig zijn. Een toewijzing van werk aan elk station zou gemiddeld vijftien minuten duren, maar dit zal zeker variëren. Deze variaties kunnen leiden tot onregelmatigheden in de doorstroming die op hun beurt kunnen leiden tot periodieke wachtrijen in de stadia en tijdsverlies bij de verwerking. Bijgevolg zal de effectieve cyclustijd ook toenemen. Om deze variatie in werktijd te compenseren, kan het soms nodig zijn om extra middelen in te schakelen (Slack et al., 2010).

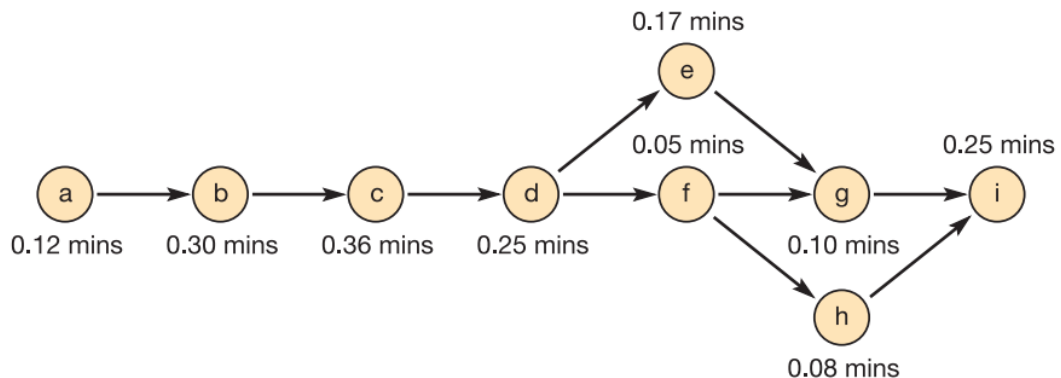
Stap 4: Balanceren van de lay-out

Slack et al. (2010) halen in hun onderzoek aan dat lijnbalanceren een van de belangrijkste beslissingen is bij *product layout*. De doeltreffendheid van de lijnbalanceringsactiviteit wordt gemeten aan de hand van het balanceringsverlies. Hiermee wordt de tijd die verloren gaat door de ongelijke toewijzing van werk als percentage van de totale tijd die wordt geïnvesteerd in de verwerking van het product of de dienst bedoeld.

In praktijk kan er beroep gedaan worden op een aantal technieken als hulpmiddel voor lijnbalanceren. Zo is het rangorde diagram de eenvoudigste techniek, wat weergegeven is in Figuur 18. Het diagram is een weergave van de elementen waaruit de totale werkinhoud van het product of dienst bestaat. De cirkels geven de verschillende elementen weer. De pijlen geven de volgorde van de elementen weer (Slack et al., 2010).

Element	(a)	– De-tin and trim	0.12 mins
Element	(b)	– Reshape with off-cuts	0.30 mins
Element	(c)	– Clad in almond fondant	0.36 mins
Element	(d)	– Clad in white fondant	0.25 mins
Element	(e)	– Decorate, red icing	0.17 mins
Element	(f)	– Decorate, green icing	0.05 mins
Element	(g)	– Decorate, blue icing	0.10 mins
Element	(h)	– Affix transfers	0.08 mins
Element	(i)	– Transfer to base and pack	<u>0.25 mins</u>

Total work content = 1.68 mins



Figuur 18: Voorbeeld rangorde diagram (Slack et al., 2013)

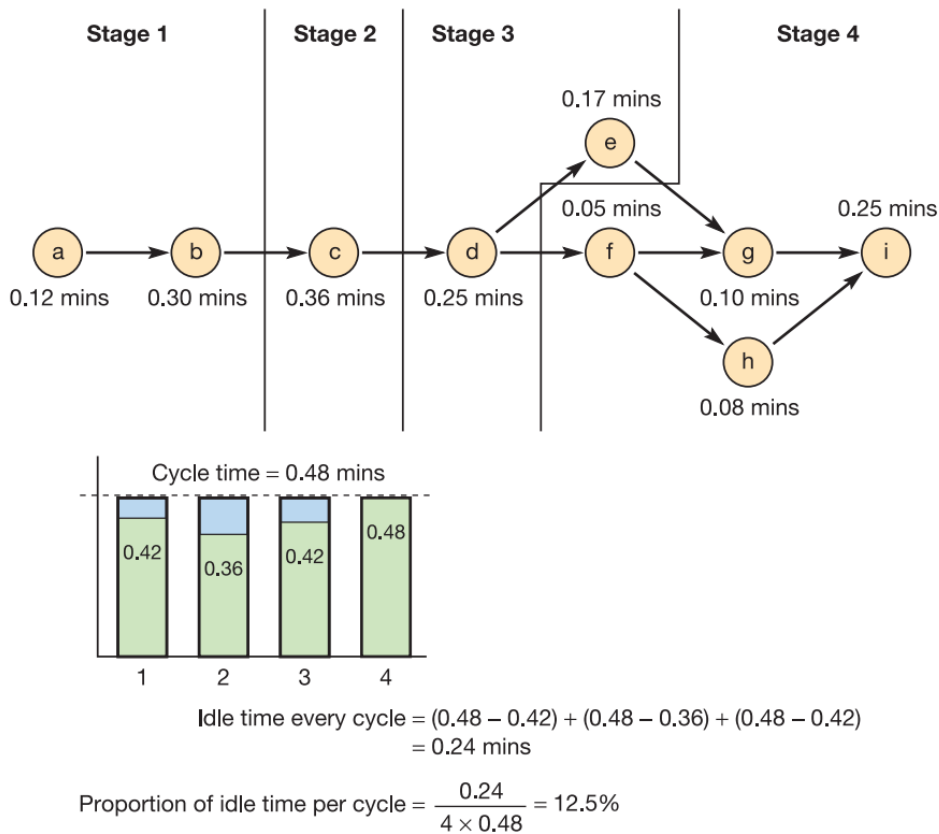
Echter zijn er wel twee regels van toepassing bij de constructie van bovenstaand diagram:

- de cirkels die de elementen weergeven worden zo ver mogelijk naar links getrokken;
- de pijlen die de rangorde van de elementen weergeven, worden nooit verticaal getekend.

Er zijn nog veel complexere technieken, maar die zullen in deze thesis niet worden aangehaald. Er zal enkel kort worden ingegaan op de algemene benadering. Deze benadering maakt het mogelijk om elementen te gaan toewijzen aan de eerste fase, te beginnen vanaf links, in volgorde van de pijlen, totdat het werk dat aan de fase is toegewezen zo dicht mogelijk bij, maar minder dan, de cyclustijd ligt. Wanneer dit gebeurt, ga je verder naar de volgende fase en doe je net hetzelfde. Dit wordt herhaald tot elk element is toegewezen aan een bepaalde fase. Wanneer er meer dan één element kan worden gekozen voor een bepaalde fase, dan bestaan er twee heuristische regels om een beslissing te nemen:

- Kies het element met de langste tijdsduur dat past in de resterende tijd van het stadium.
- Kies het element met de meeste "volgers": dat is het hoogste aantal elementen dat alleen kan worden toegewezen wanneer dat element is toegewezen.

Figuur 19 geeft zo een toewijzing aan de verschillende fases weer.



Figuur 19: Toewijzing van de elementen aan de verschillende fases (Slack et al., 2010)

5.3 Voor- en nadelen methode

Slack et al. (2010) geven als sterkte aan dat het Facility Layout Problem niet alleen rekening houdt met de kost per eenheid bij het bepalen van het lay-outtype, maar ook een afweging maakt tussen de voor- en nadelen van de verschillende lay-outs. Om deze lay-out te bepalen, zal de methode zich zowel op kwalitatieve als kwantitatieve gegevens baseren. Een nadeel hieraan is wel dat kwaliteit van de oplossing erg afhankelijk is van de geleverde input en deze input geen *real time* informatie is. Een ander nadeel wat hieraan is verbonden, is dat er niet altijd een eenduidige oplossing mogelijk is. Vaak is het zo dat er een combinatie van meerdere lay-outs zal moeten worden gehanteerd. Ook het toepassingsgebied is bij deze methode echter beperkt. De methode is tot op heden enkel nog maar toegepast in een productie context, waardoor er eerst een vertaalslag moet gemaakt worden wanneer bedrijven deze methode in een magazijn context willen toepassen.

5.4 Het Facility Layout Problem toegepast op een gevalstudie

Om het Facility Layout Problem beter te begrijpen, zal deze methode nu worden toegepast op een theoretische gevalstudie van Braekers (2021) die zich afspeelt in een productie context. De

gevalstudie zal gaan over de toewijzing van verschillende taken aan de verschillende werkstations. Hierbij wordt de assumptie gemaakt dat een werkdag bestaat uit 7 uur (= 420 minuten). Het vereiste productievolume bedraagt bovendien 750 eenheden per dag.

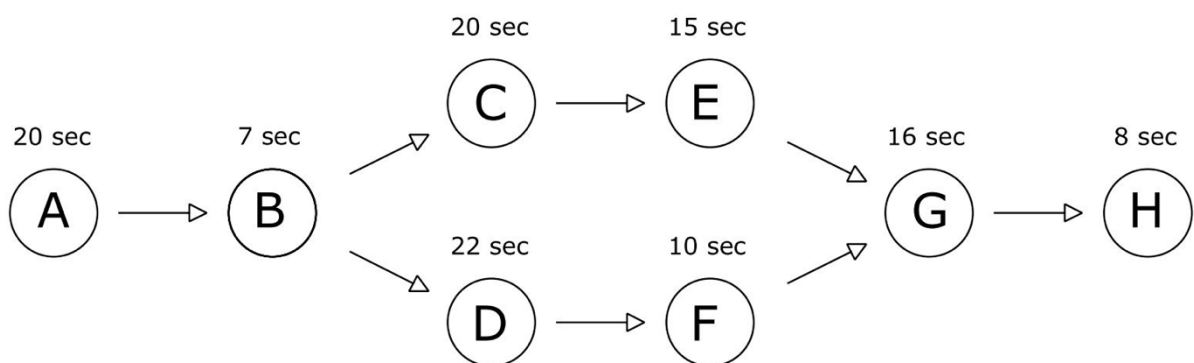
Tabel 11: De taken, taakduur en directe voorgangers (Braekers, 2021)

Taken	Duurtijd van de taak (in seconden)	Directe voorgangers
A	20	-
B	7	A
C	20	B
D	22	B
E	15	C
F	10	D
G	16	E, F
H	8	G

Gezien hier een aantal taken zijn die moeten worden uitgevoerd en steeds in dezelfde volgorde, rekening houdend met de directe voorgangers, zal er in deze gevalstudie beroep worden gedaan op de *product layout*.

Om de verschillende taken te gaan toewijzen aan de verschillende werkstations, zal er gebruikt worden gemaakt van volgend stappenplan:

Stap 1: Ontwerpen van een rangorde diagram om de situatie visueel voor te stellen



Figuur 20: Rangorde diagram

Stap 2: Berekenen van de vereiste cyclustijd van het werkstation (C)

$$C = \frac{\text{Productietijd per dag}}{\text{Vereiste output per dag (in eenheden)}} = \frac{60 \frac{\text{sec}}{\text{min}} \times 420 \text{ min}}{750 \text{ eenheden}} = 33,6 \text{ sec}$$

Stap 3: Berekenen van het minimum aantal werkstations (N_t)

$$N_t = \left\lceil \frac{\text{Som van de duurtijd van de taken (T)}}{\text{Cyclustijd (C)}} \right\rceil = \left\lceil \frac{20+7+20+22+15+10+16+8}{33,6} \right\rceil = 3,51 = 4 \text{ werkstations}$$

Stap 4: Bepalen van de primaire en secundaire regel om de taken toe te wijzen aan de werkstations

Primaire regel = grootste aantal volgers en secundaire regel = langste duurtijd

Stap 5: Toewijzen van de taken aan de verschillende werkstations

Tabel 12: Taken met aantal volgers en bijhorende duurtijd (origineel)

Taak	# Volgers	Duurtijd van de taak (in seconden)
A	7	20
B	6	7
D	3	22
C	3	20
E	2	15
F	2	10
G	1	16
H	0	8

Tabel 13: Toekennen van de verschillende taken aan de verschillende werkstations (origineel)

	Taak	Duurtijd (in sec)	Resterende tijd (in sec)	Mogelijke resterende taken	Keuze
Station 1	A	20	13,6	B	B
	B	7	6,6 idle	geen	/
Station 2	D	22	11,6	F	F
	F	10	1,6 idle	geen	/
Station 3	C	20	13,6 idle	geen	/
Station 4	E	15	18,6	G	G
	G	16	2,6 idle	geen	/
Station 5	H	8	25,6 idle	geen	/

Stap 6: Berekenen van de efficiëntie van de oplossing

$$\text{Efficiëntie van de oplossing} = \frac{\text{Som van de duurtijd (T)}}{\text{Actueel aantal werkstations (N}_a\text{) x cyclustijd (C)}} = \frac{118}{5 \times 33,6} = 0,7024 = 70,24\%$$

Stap 7: Indien de efficiëntie niet voldaan is, zal er opnieuw een balans moeten gemaakt worden met een andere toewijzingsregel (alleen als $N_a > N_t$).

$N_a = 5$ en $N_t = 4 \rightarrow$ balans moet opnieuw gemaakt worden om na te gaan of de efficiëntie niet verhoogt kan worden! \rightarrow Proces opnieuw herhalen vanaf stap 4!

Optie 1: De toewijzingsregels worden aangepast

Stap 4: Bepalen van de primaire en secundaire regel om de taken toe te wijzen aan de werkstations

Primaire regel = langste duurtijd

Secundaire regel = grootste aantal volgers

Stap 5: Toewijzen van de taken aan de verschillende werkstations

Tabel 14: Taken met hun duurtijd en bijhorend aantal volgers (optie 1)

Taak	Duurtijd van de taak (in seconden)	# Volgers
A	20	7
B	7	6
D	22	3
C	20	3
E	15	2
F	10	2
G	16	1
H	8	0

Tabel 15: Toekennen van de verschillende taken aan de verschillende werkstations (optie 1)

	Taak	Duurtijd (in sec)	Resterende tijd (in sec)	Mogelijke resterende taken	Keuze
Station 1	A	20	13,6	B	B
	B	7	6,6 idle	geen	/
Station 2	D	22	11,6	F	F
	F	10	1,6 idle	geen	/
Station 3	C	20	13,6 idle	geen	/
Station 4	E	15	18,6	G	G
	G	16	2,6 idle	geen	/
Station 5	H	8	25,6 idle	geen	/

Stap 6: Berekenen van de efficiëntie van de oplossing

$$\text{Efficiëntie van de oplossing} = \frac{\text{Som van de duurtijd (T)}}{\text{Actueel aantal werkstations (Na) x cyclustijd (C)}} = \frac{118}{5 \times 33,6} = 0,7024 = 70,24\%$$

Wanneer de toewijzingsregels worden veranderd, wordt dezelfde graad van efficiëntie bereikt! Een andere mogelijke oplossing is het aantal te produceren eenheden per dag of het aantal uren dat er gewerkt wordt per dag aan te passen.

Optie 2: In het geval dat het aantal te produceren eenheden per dag wordt aangepast van 750 eenheden naar 850 eenheden

Stap 1: Ontwerpen van een rangorde diagram om de situatie visueel voor te stellen

Hier verandert niks aan!

Stap 2: Berekenen van de vereiste cyclustijd van het werkstation (C)

$$C = \frac{\text{Productietijd per dag}}{\text{Vereiste output per dag (in eenheden)}} = \frac{60 \frac{\text{sec}}{\text{min}} \times 420 \text{ min}}{850 \text{ eenheden}} = 29,65 \text{ sec}$$

Stap 3: Berekenen van het minimum aantal werkstations (N_t)

$$N_t = \left\lceil \frac{\text{Som van de duurtijd van de taken (T)}}{\text{Cyclustijd (C)}} \right\rceil = \left\lceil \frac{20+7+20+22+15+10+16+8}{29,65} \right\rceil = 3,98 = 4 \text{ werkstations}$$

Stap 4: Bepalen van de primaire en secundaire regel om de taken toe te wijzen aan de werkstations

Primaire regel = grootste aantal volgers en secundaire regel = langste duurtijd

Stap 5: Toewijzen van de taken aan de verschillende werkstations

Tabel 16: Taken met aantal volgers en bijhorende duurtijd (optie 2)

Taak	# Volgers	Duurtijd van de taak (in seconden)
A	7	20
B	6	7
D	3	22
C	3	20
E	2	15
F	2	10
G	1	16
H	0	8

Tabel 17: Toekennen van de verschillende taken aan de verschillende werkstations (optie 2)

	Taak	Duurtijd (in sec)	Resterende tijd (in sec)	Mogelijke resterende taken	Keuze
Station 1	A	20	9,65	B	B
	B	7	2,65 idle	geen	/
Station 2	D	22	7,65 idle	geen	/
Station 3	C	20	9,65 idle	geen	/
Station 4	E	15	14,65	F	F
	F	10	4,65 idle	geen	/
Station 5	G	16	13,65	H	H
	H	8	5,65 idle	geen	/

Stap 6: Berekenen van de efficiëntie van de oplossing

$$\text{Efficiëntie van de oplossing} = \frac{\text{Som van de duurtijd (T)}}{\text{Actueel aantal werkstations (Na) x cyclustijd (C)}} = \frac{118}{5 \times 29,65} = 0,7959 = 79,59\%$$

Optie 3: In het geval dat het aantal uren dat er wordt gewerkt per dag aangepast wordt van 7 uur naar 6 uur

Stap 1: Ontwerpen van een rangorde diagram om de situatie visueel voor te stellen

Hier verandert niks aan!

Stap 2: Berekenen van de vereiste cyclustijd van het werkstation (C)

$$C = \frac{\text{Productietijd per dag}}{\text{Vereiste output per dag (in eenheden)}} = \frac{60 \frac{\text{sec}}{\text{min}} \times 360 \text{ min}}{750 \text{ eenheden}} = 28,8 \text{ sec}$$

Stap 3: Berekenen van het minimum aantal werkstations (N_t)

$$N_t = \left\lceil \frac{\text{Som van de duurtijd van de taken (T)}}{\text{cyclustijd (C)}} \right\rceil = \left\lceil \frac{20+7+20+22+15+10+16+8}{28,8} \right\rceil = 4,10 = 5 \text{ werkstations}$$

Stap 4: Bepalen van de primaire en secundaire regel om de taken toe te wijzen aan de werkstations

Primaire regel = grootste aantal volgers en secundaire regel = langste duurtijd

Stap 5: Toewijzen van de taken aan de verschillende werkstations

Tabel 18: Taken met aantal volgers en bijhorende duurtijd (optie 3)

Taak	# Volgers	Duurtijd van de taak (in seconden)
A	7	20
B	6	7
D	3	22
C	3	20
E	2	15
F	2	10
G	1	16
H	0	8

Tabel 19: Toekennen van de verschillende taken aan de verschillende werkstations (optie 3)

	Taak	Duurtijd (in sec)	Resterende tijd (in sec)	Mogelijke resterende taken	Keuze
Station 1	A	20	8,8	B	B
	B	7	1,8 idle	geen	/
Station 2	D	22	6,8 idle	geen	/
Station 3	C	20	8,8 idle	geen	/
Station 4	E	15	13,8	F	F
	F	10	3,8 idle	geen	/
Station 5	G	16	12,8	H	H
	H	8	4,8 idle	geen	/

Stap 6: Berekenen van de efficiëntie van de oplossing

$$\text{Efficiëntie van de oplossing} = \frac{\text{Som van de duurtijd (T)}}{\text{Actueel aantal werkstations (N}_a\text{) x cyclustijd (C)}} = \frac{118}{5 \times 28,8} = 0,8194 = 81,94\%$$

Conclusie

Uit bovenstaande gevalstudie kan afgeleid worden dat er meerdere aanpassingen kunnen gebeuren om de efficiëntie van de oplossing te verhogen. Wanneer dat N_a groter is dan N_t , is het mogelijk om de toewijzingsregels aan te passen. Daarnaast is het ook mogelijk om het aantal te produceren goederen per dag en/of het aantal uren dat er gewerkt wordt per dag aan te passen. Uit de gevalstudie van Braekers (2021) kan worden geconcludeerd dat het niveau van efficiëntie het hoogst is wanneer het aantal uren dat er wordt gewerkt wordt verminderd. Indien dit in praktijk niet mogelijk zou zijn, zou het bedrijf kunnen overwegen om het aantal te produceren goederen per dag te verhogen zodat het niveau van efficiëntie ook zal verhogen.

Deel 3: Analyse

Hoofdstuk 6: Vergelijking tussen de drie methodes

In Tabel 20 zijn de verschillende methodes onderzocht aan de hand van een aantal criteria. Hieruit kan er worden afgeleid dat er zowel een aantal verschillen zijn tussen de drie methodes als een aantal gelijkenissen.

Tabel 20: Vergelijkende tabel

	Systematic Layout Planning	Spaghettigrafiek	Facility Layout problem
Toepassingsgebied	Magazijn en productie context	Magazijn en productie context (waar er veel bewegingen plaatsvinden)	Productie context
Type benadering	Procedurele benadering	Procedurele benadering	Procedurele benadering
Doel	Optimale lay-out ontwikkelen voor zowel een nieuwe als een bestaande entiteit.	Optimale lay-out ontwikkelen voor een bestaande entiteit.	Optimale lay-out ontwikkelen voor zowel een nieuwe als een bestaande productie entiteit.
Gebaseerd op	Fysieke stromen van middelen die zich binnen een entiteit verplaatsen.	Fysieke stromen van middelen die zich binnen een entiteit verplaatsen.	<ul style="list-style-type: none">- Het volume en de variëteit van de producten binnen het bedrijf;- De kost om één eenheid te produceren in een bepaalde lay-out;- De voor- en nadelen van de verschillende lay-outtypes.
Voordelen	<ul style="list-style-type: none">- Goede methode die zeer eenvoudig is toe te passen;	<ul style="list-style-type: none">- Toepasbaar in alle systemen waar er veel bewegingen plaatsvinden	<ul style="list-style-type: none">- Worden meerdere elementen in rekening gebracht → het volume en

	<ul style="list-style-type: none"> - Geen specifiek apparaat nodig om de analyse uit te voeren; - Zowel toepasbaar in een distributiemagazijn als in een productiemagazijn; - Houdt zowel rekening met kwalitatieve als met kwantitatieve gegevens. 	<ul style="list-style-type: none"> - Kan niet alleen gebruikt worden voor een optimale magazijnlay-out te bekomen, maar ook om het personeel bewuster te maken van de interne stromen van het systeem en het veiligheidsniveau, om aan te tonen hoe het gedrag van het individu een invloed kan hebben op het welzijn van het bedrijf alsook om kritieke gebieden in kaart te brengen; - De analyse kan gemakkelijk verschillende keren worden herhaald en kan bijvoorbeeld ook aantonen hoe het veiligheidsniveau verandert vóór en na een bepaalde interventie. 	<p>de variëteit, maar ook de kost per eenheid en de voor- en nadelen van de verschillende lay-outs;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geen specifiek apparaat nodig om de analyse uit te voeren; - Houdt zowel rekening met kwalitatieve als met kwantitatieve gegevens.
Nadelen	<ul style="list-style-type: none"> - De analyse gebeurt niet met <i>real time</i> informatie; - De kwaliteit van de oplossing is heel erg afhankelijk van de geleverde input. 	<ul style="list-style-type: none"> - De analyse gebeurt niet met <i>real time</i> informatie; - De kwaliteit van de oplossing is heel erg afhankelijk van de geleverde input; - Er is een investering nodig in de benodigde apparatuur alvorens de analyse kan starten. 	<ul style="list-style-type: none"> - De analyse gebeurt niet met <i>real time</i> informatie; - De kwaliteit van de oplossing is heel erg afhankelijk van de geleverde input; - Niet altijd een eenduidige oplossing mogelijk. Vaak is het zo dat er een combinatie van meerdere lay-outs zal moeten worden gehanteerd;

			<ul style="list-style-type: none">- Tot op heden enkel nog maar toegepast in een productie context en nog niet in een magazijn context.
--	--	--	---

6.1 Verschillen

Een eerste verschil dat uit deze analyse naar voren is gekomen, is het toepassingsgebied. Niet alle drie de methodes zijn toepasbaar in zowel een productiemagazijn als een distributiemagazijn. Zo geven eerdere studies aan dat de Systematische Lay-out Planning en de Spaghettigrafiek toepasbaar zijn in verschillende entiteiten, terwijl het Facility Layout Problem tot op heden enkel is toegepast in een productie context. Een mogelijke aanbeveling voor verder onderzoek zou dan ook zijn om de vertaalslag te maken voor het Facility Layout Problem van een productie context naar een magazijn context.

Een tweede verschil is het doel van de verschillende methodes. Het is namelijk zo dat de Systematische Lay-out Planning en het Facility Layout Problem beide kunnen ingezet worden voor zowel het ontwikkelen van een optimale lay-out voor een nieuwe entiteit als voor een bestaande entiteit. De Spaghettigrafiek daarentegen kan enkel gebruikt worden om een optimale lay-out te ontwikkelen voor een bestaande entiteit.

Een derde verschil dat aan het licht is gekomen tijdens dit onderzoek, is dat er voor de Spaghettigrafiek mogelijks extra investeringen moeten gebeuren (volgapparatuur) wat voor de twee andere methodes niet nodig is. Door deze mogelijks extra investeringen uit te voeren, kan de onderzoeker wel niet alleen een optimale lay-out ontwikkelen, maar kan hij/zij ook het personeel bewuster maken van de interne stromen van het systeem en het veiligheidsniveau, om aan te tonen hoe het gedrag van het individu een invloed kan hebben op het welzijn op het werk alsook om kritieke gebieden in kaart te brengen. Dit is bij de andere twee methodes niet mogelijk.

Een vierde verschil dat uit dit onderzoek naar voren is gekomen, is de informatie waarop de onderzoeker zich baseert bij het uitvoeren van de verschillende methodes. Het is namelijk zo dat zowel bij de Systematische Lay-out Planning als bij de Spaghettigrafiek, de onderzoeker zich zal baseren op de fysieke stromen van middelen (mensen/producten,...) die zich binnen de entiteit gaan verplaatsen. Hierbij zal de onderzoeker zich vooral gaan baseren op de volumes van de producten die zich binnen de entiteit gaan verplaatsen. Bij het Facility Layout Problem daarentegen zal de onderzoeker zich niet enkel baseren op het volume, maar zal hij/zij ook extra aandacht schenken aan de variëteit van de producten die zich in de entiteit gaan verplaatsen alsook op de kost per eenheid om een product te produceren in een bepaalde lay-out.

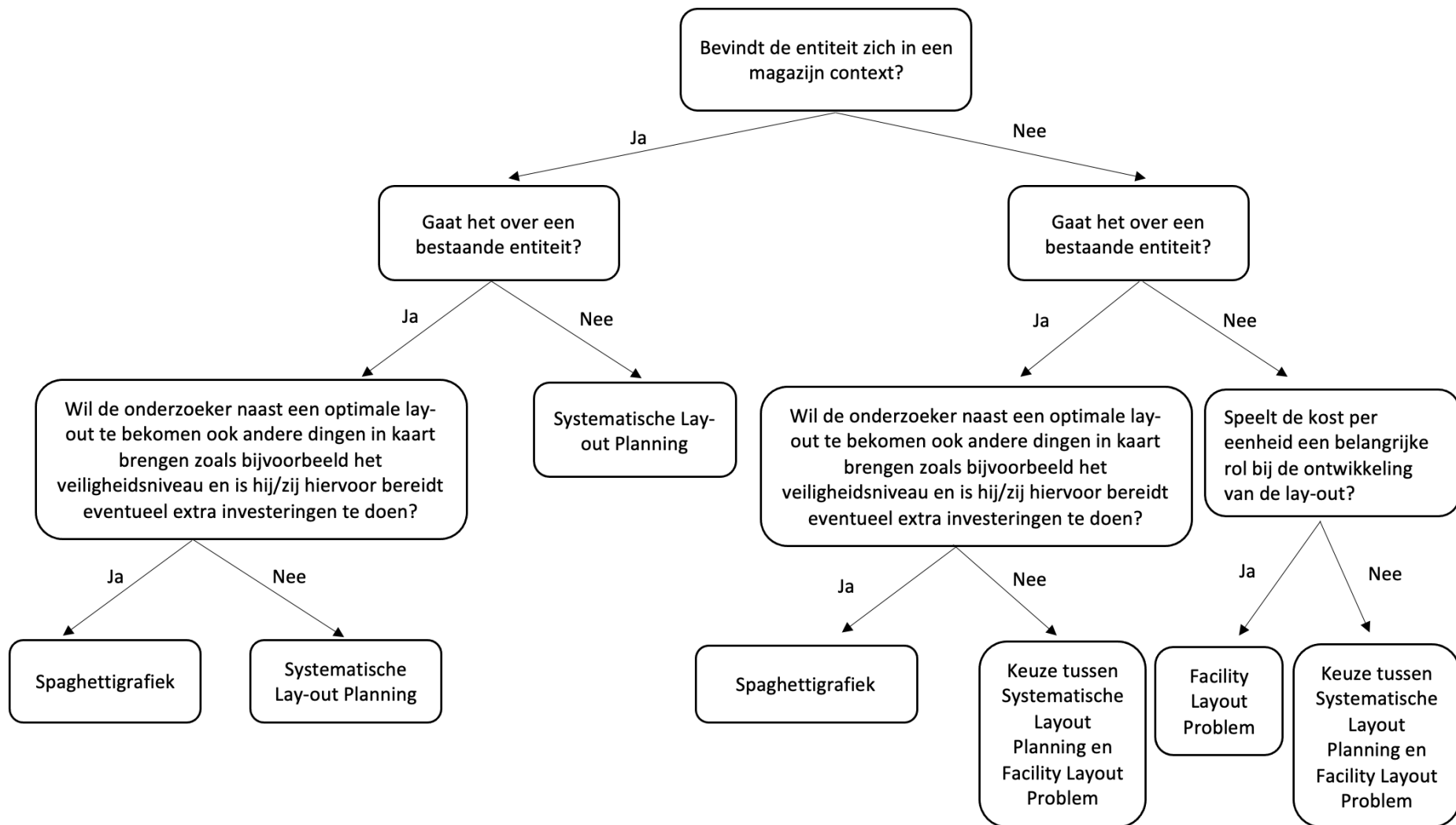
Een vijfde en laatste verschil is dat alle drie de methodes een overweging maken van de voor- en nadelen van de verschillende lay-outs om tot de meest efficiëntste te komen, maar dit toch op een andere manier gebeurd. Bij de Systematische Lay-out Planning en bij de Spaghettigrafiek gaat de onderzoeker verschillende layouts ontwikkelen en later pas een analyse maken van de voor- en nadelen om tot de gespaste layout te komen. Bij het Facility Layout Problem daarentegen gaat de onderzoeker al bij het begin een overweging maken tussen de voor- en nadelen van de verschillende layouttypes alvorens hij/zij zal overgaan tot een definitieve ontwikkeling van de lay-out.

6.2 Gelijkenissen

Een eerste gelijkenis dat uit deze analyse naar voren is gekomen, is het feit dat bij de drie methodes de analyse niet gebeurt op basis van *real time* informatie. De onderzoekers moeten namelijk eerst de informatie gaan verzamelen alvorens ze een optimale lay-out kunnen ontwikkelen.

Een tweede gelijkenis is dat de kwaliteit van de oplossing steeds afhangt van de geleverde input. Bij alle drie de methodes zal er zoals eerder aangehaald eerst data moeten worden verzameld door de onderzoeker alvorens de analyse kan starten. Wanneer deze data niet correct of volledig is, zal de onderzoeker mogelijks ook niet de meeste optimale lay-out bekomen.

Een derde en laatste gelijkenis, is het feit dat de drie methodes zowel rekening houden met kwalitatieve als met kwantitatieve gegevens.



Figuur 21: Stappenplan voor het bepalen van de meest geschikte methode

Nu duidelijk is wat de methodes juist inhouden en waarin ze verschillen en gelijk zijn aan elkaar, is het ook belangrijk om te weten wanneer welke methode het best gehanteerd kan worden. Figuur 21 geeft daarom aan welke methode de beslissingnemer moet gebruiken bij het ontwikkelen van een optimale lay-out onder verschillende omstandigheden. Om tot een antwoord op deze vraag te komen, moet de beslissingnemer zich eerst de vraag stellen of de entiteit zich in een magazijn context bevindt of niet.

Wanneer een beslissingnemer van een bedrijf de lay-out van een entiteit in kaart wilt brengen dat zich in een magazijn context bevindt, heeft hij/zij de keuze tussen slechts twee verschillende methodes. Om tot de meest geschikte methode te komen, moet de beslissingnemer eerst nagaan of het gaat om een bestaande of een nieuwe entiteit. Wanneer het gaat om een bestaande entiteit, moet de beslissingnemer gaan overwegen of hij/zij bereidt is extra investeringen te doen in apparatuur om zo buiten het bekomen van een optimale magazijnlay-out ook andere dingen in kaart te brengen. Wanneer hij/zij bereidt is om die extra investeringen te doen om zo bijvoorbeeld ook de veiligheid in kaart te brengen, moet de beslissingnemer gebruik maken van de Spaghettigrafiek. Indien hij/zij niet bereidt is extra investeringen te doen of het is een nieuwe entiteit in een magazijn context, moet de Systematische Lay-out Planning worden gekozen.

Wanneer een beslissingnemer van een bedrijf de lay-out van een entiteit in kaart wilt brengen dat zich in een productie context bevindt, heeft hij/zij de keuze tussen drie verschillende methodes. Om tot de meest geschikte methode te komen, moet de beslissingnemer opnieuw eerst nagaan of het gaat om een bestaande of een nieuwe entiteit. Wanneer het gaat om een bestaande entiteit, moet de beslissingnemer gaan overwegen of hij/zij bereidt is extra investeringen te doen in apparatuur om zo buiten het bekomen van een optimale magazijnlay-out ook andere dingen in kaart te brengen. Wanneer hij/zij bereidt is om die extra investeringen te doen, om zo bijvoorbeeld ook de veiligheid in kaart te brengen, moet de beslissingnemer gebruik maken van de Spaghettigrafiek. Indien hij/zij niet bereidt is extra investeringen te doen, kan er gekozen worden om zowel de Systematische Lay-out Planning als het Facility Layout Problem te hanteren.

Wanneer de beslissingnemer daarentegen de lay-out van een nieuwe entiteit in kaart wilt brengen, heeft hij/zij de keuze tussen slechts twee verschillende methodes. Om tot de meest geschikte methode te komen, moet de beslissingnemer zich de vraag stellen of de kost per eenheid een belangrijke rol speelt bij de ontwikkeling van de lay-out. Indien dit het geval is, moet de beslissingnemer sowieso kiezen voor het Facility Layout Problem. Indien dit niet het geval is, kan er gekozen worden om zowel de Systematische Lay-out Planning als het Facility Layout Problem te hanteren

Echter is het wel zo dat wanneer het bedrijf de keuze heeft om zowel de Systematische Lay-out Planning als het Facility Layout Problem te kiezen, de beslissingnemer zich moet afvragen hoe hij de lay-out juist wilt beoordelen. Wanneer de beslissingnemer opzoek is naar in het algemeen een zo efficiënt mogelijke lay-out, kan hij/zij beroep doen op het Facility Layout Problem. Wanneer de beslissingnemer daarentegen de lay-out wilt beoordelen aan de hand van een waarderingssysteem

waarbij hij/zij een aantal criteria wilt vooropstellen, zoals bijvoorbeeld flexibiliteit, maximale capaciteitsbenutting en maximale productiviteit, dan kan hij/zij beter gebruik maken van de Systematische Lay-out Planning.

Er kan dus worden geconcludeerd dat de drie methodes onder verschillende omstandigheden gebruikt kunnen worden, maar er in de meeste gevallen toch altijd één methode is die net iets meer geschikt is dan de rest. Gezien dat uit dit onderzoek is gebleken dat de methodes ook op een aantal vlakken van elkaar verschillen, zullen de bekomen lay-outs ook verschillen naargelang de methode die gebruikt wordt. Echter is wel belangrijk om in het achterhoofd te houden dat de conclusies van dit onderzoek echter uitsluitend op theoretische bevindingen zijn gebaseerd. Het zou kunnen dat er vanuit de praktijk andere aspecten naar boven komen.

Hoofdstuk 7: Conclusie

Uit meerdere onderzoeken is gebleken dat een magazijn voor verschillende doeleinden kan gebruikt worden. Zo kan het worden ingeschakeld als plaats voor opslag en buffering van producten, als overslagplaats, als plaats voor het uitvoeren van waarde toevoegende activiteiten of als centrum voor geretourneerde goederen. Er kan dus worden besloten dat er verschillende redenen zijn waarom een bedrijf beroep doet op een magazijn.

Wanneer de beslissingsnemer ervoor kiest om een magazijn in te schakelen, is het belangrijk dat zowel de locatie als de indeling zo optimaal mogelijk gebeuren. Een eerste reden hiervoor is dat de locatie van een magazijn over het algemeen één van de belangrijkste en meest strategische beslissingen is bij de optimalisatie van logistieke systemen. Bovendien is het ook zo dat er door onderzoekers is aangetoond dat de prijzen van vastgoed en industriegrond de laatste jaren enorm zijn gestegen. Veel bedrijven willen hierdoor kosten besparen en willen de productiviteit in hun magazijnen verbeteren. Het is daarom belangrijk dat elke vierkante meter van het magazijn zo optimaal mogelijk wordt benut. Dit is dan ook een reden waarom managers van distributiecentra en magazijnen steeds meer aandacht moeten besteden aan de lay-out en inplanting van hun magazijnprocessen. Daarnaast is uit het onderzoek ook gebleken dat bedrijven vaker goederen gaan importeren uit verre landen, aangezien daar de productiekosten lager zijn of omwille van de schaarste hier waardoor de doorlooptijden soms erg lang zijn. Om aan de veranderende vraag van de klant (kleine hoeveelheden op een zo kort mogelijke termijn ontvangen en dit tegen een zo laag mogelijke prijs) te kunnen voldoen, zal de doorlooptijd moeten inkorten, wat zorgt voor een enorme druk op de logistieke processen van een bedrijf. Om deze druk te beperken, is het voor de bedrijven zeer belangrijk dat hun logistieke processen en hun magazijnlay-out zo efficiënt mogelijk zijn opgesteld. Dit zijn dan ook genoeg redenen die aantonen dat een optimale magazijnlay-out zeer belangrijk is.

Om tot een optimale magazijnlay-out van een faciliteit te komen, is het belangrijk dat de beslissingsnemer ook zicht heeft op de elementen die een invloed hebben op de magazijnlay-out. Zo is uit onderzoek gebleken dat er twee soorten beslissingen moeten genomen worden wanneer een bedrijf bezig is met de efficiëntie van zijn/haar magazijn, namelijk strategische beslissingen en tactische/operationele beslissingen. Onder strategische beslissingen horen beslissingen omtrent het *design* van het magazijn. Wanneer het gaat over de werking van het bedrijf, gaat het over tactische en operationele beslissingen. Gezien deze thesis gaat over een optimale magazijnlay-out, is er dan ook niet verder ingegaan op de operationele en tactische beslissingen.

Volgens verschillende onderzoekers is aangetoond dat de strategische beslissingen die moeten genomen worden om de magazijnlay-out van een faciliteit te bepalen bestaan uit vijf soorten beslissingen, namelijk beslissingen omtrent de algemene structuur van het magazijn of het conceptuele ontwerp, beslissingen omtrent de grootte en de afmetingen van het magazijn, beslissingen die betrekking hebben op de lay-out van de afdelingen van het magazijn, beslissingen die betrekking hebben op de uitrusting die nodig is in het magazijn en tot slot beslissingen wat

betreft het opslagbeleid en de methoden van orderpicken. Er kan uit eerdere studies geconcludeerd worden dat er heel wat elementen zijn die de efficiëntie van het magazijn gaan bepalen. In deze thesis is er echter niet verder ingegaan op al deze elementen, maar is enkel een diepere analyse gemaakt van de lay-out van het magazijn zelf.

Om deze optimale magazijnlay-out van een faciliteit te bekomen, zijn er drie verschillende methodes onderzocht. Namelijk de Systematische Lay-out Planning, de Spaghettigrafiek en het Facility Layout Problem. Na een grondige analyse kan er worden besloten dat er zowel een aantal verschillen als een aantal gelijkenissen zijn tussen de verschillende methodes. De belangrijkste elementen waarin de drie methodes van elkaar verschillen zijn het toepassingsgebied, het doel, de extra investeringen die nodig zijn, de informatie waarop de methode zich baseert en hoe de voor- en nadelen van de verschillende lay-outtypes in overweging genomen worden. Daarnaast is uit het onderzoek ook gebleken dat er hoofdzakelijk drie gelijkenissen zijn tussen de drie methodes. Een eerste gelijkenis is het feit dat bij de drie methodes de analyse niet gebeurt op basis van *real time* informatie en een tweede gelijkenis is dat de kwaliteit van de oplossing steeds afhangt van de geleverde input. Een derde en laatste gelijkenis, is het feit dat de drie methodes zich zowel baseren op kwalitatieve als op kwantitatieve gegevens.

Er kan dus worden geconcludeerd dat de drie methodes die in deze thesis onderzocht zijn op bepaalde vlakken overeenstemmen met elkaar, maar op andere vlakken dan toch verschillen. Om na te gaan welke methode er in een bepaalde situatie het best gekozen kan worden, kan er gebruik gemaakt worden van Figuur 21. Uit dit schema kan worden afgeleid dat wanneer een onderzoeker van een bedrijf bijvoorbeeld de lay-out van een bestaande entiteit dat zich in een magazijn context bevindt in kaart wilt brengen, zowel de Systematische Lay-out Planning als de Spaghettigrafiek gebruikt kunnen worden. Om tot de meest geschikte methode te komen, moet de beslissingsnemer zich afvragen of hij/zij bereidt is extra investeringen te doen in apparatuur om zo buiten het bekomen van een optimale magazijnlay-out ook andere dingen in kaart te brengen. Wanneer hij/zij bereidt is om die extra investeringen te doen om zo bijvoorbeeld ook de veiligheid in kaart te brengen, moet de beslissingsnemer gebruik maken van de Spaghettigrafiek, anders moet de Systematische Lay-out Planning gehanteerd worden.

De theoretische implicatie van dit onderzoek is dan ook dat de verschillende inzichten uit de literatuur gebundeld zijn in één onderzoek. Daarnaast heeft dit onderzoek ook een belangrijke praktische implicatie aangezien in deze studie de voor- en nadelen van de verschillende methodes op een eenvoudige manier worden opgelijst, waardoor de bedrijven makkelijk een afweging kunnen maken tussen de methodes om te bepalen welke methode het meest geschikt is voor hun magazijn.

Echter is er uit dit onderzoek wel een belangrijke beperking naar voren gekomen. Het is namelijk belangrijk dat de lezer in het achterhoofd houdt dat de bevindingen die uit deze thesis naar voren zijn gekomen puur gebaseerd zijn op wetenschappelijke artikels. Doordat er zoveel informatie nodig was om de verschillende methodes in de praktijk toe te passen en er niet aan al deze informatie kon geraakt worden, zijn de bevindingen dan ook niet in de praktijk getoetst. Naast de grote hoeveelheid

informatie die er nodig was, was er voor de Spaghettigrafiek ook apparatuur nodig wat het toepassen in de praktijk al helemaal belemmerde.

Een aanbeveling voor verder onderzoek zou dan ook zijn dat de onderzoeker de verschillende methodes gaat toepassen op één specifieke faciliteit, om zo te achterhalen waarin de verschillende lay-outs overeenstemmen en waarin ze verschillen van elkaar. Eerder is ook aangetoond dat het Facility Layout Problem tot op heden enkel is onderzocht in de productie context. Wanneer de onderzoeker de verschillende methodes wilt toepassen op een faciliteit, kan het zinvol zijn om eerst de vertaalslag te maken van het Facility Layout Problem in productie context naar de magazijn context. Op deze manier kunnen de drie methodes zowel in de productie context als in de magazijn context met elkaar vergeleken worden en kan er zo ook achterhaald worden waarin de verschillende lay-outs in de realiteit overeenstemmen en waarin ze verschillen van elkaar.

Deel 4: Referentielijst

- Badts, L. (2022, 5 januari). *De belangrijkste e-commerce trends in 2022*. KMO Shops. Geraadpleegd op 23 mei 2022, van <https://www.kmoshops.be/de-belangrijkste-e-commerce-trends-in-2021/#:~:text=De%20toekomstige%20groei%20van%20e%2Dcommerce&text=De%20omzet%20zal%20naar%20verwachting,verschilt%20het%20gebruik%20per%20regio.>
- Baker, P., & Canessa, M. (2009). Warehouse design: A structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193(2), 425–436. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.045>
- Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2019). *WAREHOUSE & DISTRIBUTION SCIENCE* (0.98.1 ed.). Warehouse Science.
- Bhaskaran, K., & Malmberg, C.J. (1990). Economic tradeoffs in sizing warehouse reserve storage area, *Applied Mathematical Modelling* 14(7), 381-385.
- Braekers, K. (2019, 6 oktober). *Warehouse Management* [Powerpoint-slides]. Bedrijfseconomische wetenschappen, Universiteit Hasselt. Geraadpleegd op 6 november 2021.
- Braekers, K. (2021, 7 oktober). *Facility Layout* [Powerpoint-slides]. Bedrijfseconomische wetenschappen, Universiteit Hasselt. Geraadpleegd op 6 november 2021.
- Cantini, A., De Carlo, F., & Tucci, M. (2020). Towards Forklift Safety in a Warehouse: An Approach Based on the Automatic Analysis of Resource Flows. *Sustainability*, 12 (21), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su12218949>
- Dharmapriya, U. S. S., & Kulatunga, A. K. (2011). New strategy for warehouse optimization–lean warehousing. In *Proceedings of the 2011 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (pp. 513-519).
- Demirel, T., Demirel, N. Ç., & Kahraman, C. (2010). Multi-criteria warehouse location selection using Choquet integral. *Expert Systems with Applications*, 37(5), 3943–3952. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.11.022>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- GAC Business Solutions. (2021, 11 februari). *Een efficiënt en productief magazijn met Trade365 - GAC*. Geraadpleegd op 24 november 2021, van <https://www.gac.nl/nieuws/business-central/hoe-verhoog-je-de-productiviteit-van-je-magazijn-en-logistieke-medewerkers/>

Gerritsma, J. G. (2016). Magazijn lay-out ontwerp. Rotterdam University of Applied Sciences. URL: https://hbo-kennisbank.nl/details/sharekit_hr:oai:surfsharekit.nl:42c402f1-cd3a-47cf-aaf0-30fa86df803b

Ghoos, A. (2017). Optimalisatie van de opslaglocaties in het magazijn van Vink. UHasselt. URL: <http://hdl.handle.net/1942/24770>

Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>

Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2010). Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.07.031>

Inglay, R. S., Dhalla, R., & Mumbai, N. (2010). Application of Systematic Layout Planning in Hypermarkets. *Semantic scholar*, 185–189. <https://www.semanticscholar.org/paper/Application-of-Systematic-Layout-Planning-in-Inglay-Dhalla/52be9dd780dc7b3c4ed80161a269007e1ac2cd80>

Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2020). *Operations And Supply Chain Management 16e*. McGraw-Hill Education.

Lambert, D. M., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. McGraw-Hill Education.

Lin, K. Y. & Sibdari, S. Y. (2009). Dynamic price competition with discrete customer choices. *European Journal of Operational Research*, 197(3), 969–980. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.12.040>

Logan, M. (2018, 25 oktober). *Distribution Center Layout and Design - Part 2: Systematic Layout Planning* | Bastian Solutions. Bastian Solutions. Geraadpleegd op 28 december 2021, van <https://www.bastiansolutions.com/blog/distribution-center-layout-and-design---part-2-systematic-layout-planning/>

Lone, S., Harboul, N. & Weltevreden, J.W.J. (2021). *European E-commerce Report 2021*. Amsterdam/Brussels: Amsterdam University of Applied Sciences & Ecommerce Europe.

Muther, R. and associates (2005). Overview of Systematic Layout Planning (SLP): manufacturing plant example. Geraadpleegd op 29 december 2021, van <http://www.hpcinc.com/rma/rma.asp?TopicID=2&Name=Methods>.

On-demand warehousing versus traditionele opties | Istia. (2020, 8 november). Istia. Geraadpleegd op 8 november 2021, van <https://www.istia.nl/on-demand-warehousing-versus-traditionele-opties/>

Opslagssystemen: bespaar tot 90 procent plaats in uw magazijn. (2020, 8 mei). Logistiek. Geraadpleegd op 18 november 2021, van <https://www.logistiek.nl/warehousing/artikel/2020/03/bespaar-tot-90-procent-plaats-in-uw-magazijn-101172745>

Risack, L. (2021, 16 augustus). *Welke soorten magazijnen zijn er?* Voorraadbeheer Software Vergelijken. Geraadpleegd op 14 december 2021, van <https://www.vergelijk-voorraadbeheer.nl/welke-soorten-magazijnen-zijn-er/>

van Silfthout, L.M. (2012). Door de bollen het bos zien. Universiteit Twente. URL: https://essay.utwente.nl/62121/1/BSc_LM_van_Silfthout.pdf

Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Operations Management* (6de editie). Prentice Hall.

Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2013). *Operations Management* (7de editie). Pearson.

Van Breedam, A. (2021, 14 december). *Distribution Structures* [Powerpoint-slides]. Bedrijfseconomische wetenschappen, Universiteit Hasselt. Geraadpleegd op 17 december 2021.

Vastgoedstrategie. (z.d.). KBC. Geraadpleegd op 7 november 2021, van https://www.kbc.be/privatebanking/nl/successieplanning/vastgoedsevice/vastgoedrapport.html?s_kwid=AL!10117!3!450676451720!b!!q!!%2Bvastgoed%20%2Bprijzen&TYPE=qa&CID=pa_privat_ebanking_ao_1865536270_vastgoedgeneric_104604309323&PLA=na_na_adw52_na_na_generic&CRE=450676451720_na_na_na&clid=CjwKCAiA1aiMBhAUEiwACw25MValf4w3J2XRfld95MvYYZan_vCUK6KLYFB-tzL21CPZd_aI8EG07WhoCnEsQAvD_BwE

Vis, D. (2021, 8 september). *Consument geeft minder uit aan verzending.* Ecommerce News. Geraadpleegd op 1 december 2021, van <https://www.ecommercenews.be/consument-geeft-minder-uit-aan-verzending/>

Yang, T., Su, C., & Hsu, Y. (2000). Systematic layout planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(11), 1359–1371. <https://doi.org/10.1108/01443570010348299>