



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Optimalisatie van magazijnprocessen

Sam de Haas

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

PROMOTOR :

dr. Ruben D'HAEN

BEGELEIDER :

Prof. dr. Kris BRAEKERS



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

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

2023
2024



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master in de handelswetenschappen

Masterthesis

Optimalisatie van magazijnprocessen

Sam de Haas

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

PROMOTOR :

dr. Ruben D'HAEN

BEGELEIDER :

Prof. dr. Kris BRAEKERS

Woord vooraf

De afronding van mijn masteropleiding in Handelswetenschappen met een specialisatie in Supply Chain Management aan de Universiteit Hasselt wordt bekroond met deze masterproef. Mijn interesse in logistiek, die gedurende mijn studie steeds verder groeide vond zijn hoogtepunt in het onderwerp van deze thesis: de automatisering van magazijnprocessen.

Het is van groot belang om mijn dankbaarheid te uiten aan de personen die een essentiële rol hebben gespeeld bij het tot stand brengen van deze thesis. Allereerst wil ik mijn oprechte waardering uitspreken naar mijn promotor prof dr. Ruben D'Haen en mijn begeleider dr. Kris Braekers. Hun voortreffelijke begeleiding, constructieve feedback en waardevolle suggesties hebben onmiskenbaar bijgedragen aan de kwaliteit en verbetering van deze masterproef. Hun expertise en toewijding hebben me geholpen om deze complexe materie beter te begrijpen en mijn onderzoek naar een hoger niveau te tillen.

Daarnaast wil ik mijn dankbaarheid uiten aan de professionals die ik heb mogen interviewen. Hun bereidheid om hun ervaringen te delen en inzichten te verstrekken in de magazijnprocessen van hun organisaties hebben mijn begrip van het onderwerp aanzienlijk verdiept. Hun bijdragen hebben een grote waarde toegevoegd aan mijn onderzoek.

Tot slot wil ik mijn ouders, broer, vriend en vrienden bedanken voor hun voortdurende steun, aanmoediging en begrip die zij mij gedurende mijn hele studiekeperiode hebben gegeven. Hun geloof in mijn capaciteiten en hun aanmoediging om door te zetten, zelfs tijdens de meest uitdagende momenten, hebben me geholpen om mijn doelen te bereiken.

Kortom, deze masterproef markeert niet alleen het einde van mijn academische reis, maar is ook een viering van de ondersteuning, begeleiding en toewijding van degenen die mij hebben geholpen om deze mijlpaal te bereiken.

Sam de Haas
Lanaken, juni 2024

Samenvatting

Deze masterproef onderzoekt de impact van automatisatie op het optimaliseren van magazijnprocessen. In het licht van de toenemende relevantie van e-commerce, waarbij snelheid en kwaliteit cruciaal zijn en de concurrentie steeds heviger wordt, moeten bedrijven in staat zijn om snel en efficiënt aan klantbehoeften te voldoen. Een manier om dit te bereiken is het toepassen van automatisatie in magazijnprocessen, zodat logistieke processen soepel en sneller verlopen. Het doel van deze masterproef is om een diepgaand inzicht te verschaffen in hoe automatiseringstechnologieën de afgelopen jaren zijn geëvolueerd. De onderzoeksvraag die centraal staat in deze thesis luidt: "Hoe verliep de ontwikkeling van de automatisering binnen magazijnprocessen de afgelopen jaren?"

De magazijnen staan onder toenemende druk om sneller en efficiënter te presteren door de groeiende vraag vanuit de e-commerce. Traditionele magazijnoperaties, die sterk afhankelijk zijn van menselijke arbeid, worden nog vaak geconfronteerd met veel fouten door menselijke handelingen. Automatisering biedt een goede oplossing door niet alleen de snelheid en nauwkeurigheid van operaties te verbeteren maar ook de kosten te verlagen. Door middel van een uitgebreide literatuurstudie en kwalitatief onderzoek zijn er waardevolle inzichten naar boven gekomen over hoe automatisering deze uitdagingen kan aanpakken.

Allereerst is er literatuuronderzoek uitgevoerd om de verschillen tussen traditionele magazijnen en geautomatiseerde magazijnen in kaart te brengen. Uit dit onderzoek blijkt dat steeds meer technologieën worden gebruikt om magazijnprocessen soepeler te laten verlopen. Vervolgens wordt onderzocht welke specifieke processen in magazijnen geautomatiseerd kunnen worden. Hieruit blijkt dat orderpicking een activiteit is die bijzonder veel tijd in beslag neemt, waardoor het voor bedrijven aantrekkelijk is om dit proces, waar mogelijk, te automatiseren om zo snelheid en efficiëntie te verhogen.

Er wordt vervolgens een onderverdeling gemaakt tussen drie methoden van orderpicking: picker-to-parts, put-to-wall en parts-to-picker. Uit deze analyse blijkt dat de parts-to-picker-methode zeer geschikt is voor automatisering, terwijl de picker-to-parts-methode veel tijdrovender is. Dit maakt het voor bedrijven interessant om de parts-to-picker-methode te overwegen voor optimalisatie van hun magazijnen. Om dit verder te onderzoeken, worden de technologieën en systemen die bij elke methode horen geïdentificeerd en geanalyseerd.

De parts-to-picker-methode is een geautomatiseerde aanpak, waardoor het voor bedrijven zeer interessant is om over te stappen op deze methode in hun magazijnen in plaats van de picker-to-parts-methode. Bij de parts-to-picker methode wordt specifiek gekeken naar de implementatie van technologieën zoals autostore, automated storage and retrieval systems (AS/RS), drones, automated guided vehicles (AGV's), en shuttlesystemen. Deze technologieën worden grondig bestudeerd om te begrijpen hoe ze binnen magazijnen functioneren en bijdragen aan de optimalisatie van processen.

Bij de picker-to-parts methode worden technologieën zoals barcode scanners, pick-by-light en pick-by-voice uitgebreid geanalyseerd. Deze technologische hulpmiddelen blijken vaak gebruikt te worden vanwege hun vermogen om de nauwkeurigheid en snelheid van het orderpicking proces te verhogen. Barcode scanners zorgen voor een nauwkeurige registratie van producten, terwijl pick-by-light en pick-by-voice systemen visuele aanwijzingen en stem gestuurde instructies bieden, waardoor orderpickers efficiënter kunnen werken.

Als laatste onderdeel, wordt de put-to-wall methode onderzocht. Dit is een techniek waarbij orderpickers tijdelijk hun goederen kunnen opslaan in een muur tijdens het picken. Bestellingen worden in specifieke locaties binnen de muur geplaatst totdat de gehele bestelling compleet is en verder kan worden verstuurd naar de volgende afdeling. Deze aanpak draagt bij aan de vermindering van fouten tijdens het orderpicken, binnen deze methode worden namelijk technologieën zoals pick-by-light toegepast en dit helpt orderpickers hun werk beter te organiseren en te structureren.

Nadat het onderzoeken en bestuderen van de geautomatiseerde systemen, worden de voordelen en nadelen opgesomd en uitgewerkt in dit onderzoek. Hierbij komt de hoge kosten van de implementatie van automatisatie als een belangrijk nadeel naar voren. Als belangrijkste voordeel blijkt dat automatisatie aanzienlijk bijdraagt aan het verhogen van de efficiëntie binnen magazijnprocessen.

Om de literatuurstudie af te sluiten, wordt gekeken naar de huidige stand van zaken op het gebied van automatisatie binnen magazijnen. Automatisering is steeds gebruikelijker in grote magazijnen, vooral wat betreft transportbanden, sorteerprocessen en geautomatiseerde opslag- en zoeksystemen. Deze systemen zijn aanwezig in meer dan een derde van de grote magazijnen, dat benadrukt hoezeer automatisering een gevestigde praktijk is geworden in de logistieke sector. Volledig geautomatiseerde magazijnen, waar menselijke tussenkomst tot een minimum wordt beperkt, zullen dus steeds meer de norm worden.

Ook de toepassing van technologische ontwikkelingen is een belangrijk aspect waar bedrijven hun aandacht bij moeten houden, bijvoorbeeld de integratie van Digital Twins, dit systeem zal apparaten en systemen in staat stellen om met elkaar te communiceren en processen verder te optimaliseren. Verbeterde kunstmatige intelligentie zal helpen bij het voorspellen van vraag en het optimaliseren van voorraadbeheer. Daarnaast zal de samenwerking tussen mens en machine, waarbij robots en menselijke werknemers naadloos samenwerken, de efficiëntie en productiviteit verhogen.

Vervolgens wordt een kwalitatief onderzoek uitgevoerd om inzicht te krijgen in de praktische toepassing van deze automatiseringstechnologieën binnen verschillende bedrijven. In dit kader worden semi-gestructureerde interviews afgenomen met vier logistieke medewerkers die werkzaam zijn bij diverse bedrijven. Er werd gekozen voor semi-gestructureerd om de flexibiliteit te behouden en dieper in te kunnen gaan op specifieke antwoorden.

Tijdens de interviews wordt nagegaan welke specifieke vormen van automatisatie door deze bedrijven zijn toegepast, waarom zij voor deze technologieën hebben gekozen, en wat de resultaten en ervaringen hiermee zijn. De geïnterviewden delen gedetailleerde inzichten over de voordelen en

uitdagingen van de geïmplementeerde systemen. De bedrijven Atlas Copco, Livlina en de 3PL van Delta Pharma hebben ervoor gekozen om geautomatiseerde systemen zoals autostore en OSR-systemen te implementeren in hun magazijnen om zo de opslag te optimaliseren. Het geïnterviewde bedrijf, Jaga, daarentegen loopt nog achter op gebied van automatisering van de magazijnprocessen, dit bedrijf zit nog in de vroege fase waarin technologische ontwikkelingen geïmplementeerd zullen worden, zoals scanners tijdens hun pickactiviteiten.

Er wordt ook geanalyseerd welke factoren hebben bijgedragen aan de keuze van specifieke automatisatiesystemen binnen hun magazijnprocessen. Hierbij kwamen onder andere de aard van de opgeslagen goederen en de specifieke logistieke uitdagingen, zoals snelheid van een geautomatiseerd opslagsysteem, van elk bedrijf aan bod. De resultaten van deze kwalitatieve interviews bieden waardevolle informatie om de bevindingen die verkregen werden binnen de literatuurstudie te versterken.

Door interviews af te leggen met verschillende bedrijven, wordt een diepgaand inzicht verkregen in de werkelijke effecten van automatiseringstechnologieën binnen verschillende logistieke omgevingen. Dit onderzoek toont aan dat de keuze en implementatie van de juiste technologieën een significante impact heeft op de efficiëntie en effectiviteit van magazijnprocessen.

Tot slot worden conclusies getrokken uit de literatuurstudie en de interviews, en worden de resultaten van beide met elkaar vergeleken. Er kan geconcludeerd worden dat de inzichten uit de interviews de resultaten van de literatuurstudie grotendeels bevestigen. De eerste beperking binnen deze masterproef vindt plaats binnen het kwalitatief onderzoek. Dit onderzoek heeft zich moeten beperken tot vier bedrijven, dit is een te kleine omvang om definitieve conclusies te trekken uit de gegevens die hieruit verkregen werden. Daarnaast is er momenteel beperkte beschikbaarheid aan cijfermateriaal over de huidige implementatie van automatisatie binnen magazijnen, wat een tweede beperking binnen dit onderzoek vormt.

De masterproef wordt afgerond met enkele toekomstige onderzoeksmogelijkheden. Dit omvat onder meer het verder onderzoeken van automatisatie binnen magazijnen in praktijk, om te beginnen met de behoefte aan onderzoek over de langetermijneffecten van automatisatie op de werkgelegenheid in de logistieke sector. Het is essentieel om niet alleen de mogelijke vermindering van banen als gevolg van automatisering te onderzoeken, maar ook de kansen voor omscholing van werknemers en de ontwikkeling van nieuwe technologische vaardigheden. Dit onderzoek moet zich richten op hoe werknemers kunnen worden voorbereid op de veranderende eisen van geautomatiseerde magazijnprocessen en hoe zij kunnen worden ingezet in nieuwe rollen die ontstaan door technologische vooruitgang.

Daarnaast is verder onderzoek naar opkomende technologieën zoals kunstmatige intelligentie (AI), machine learning en Digital Twin van groot belang om de toekomst van magazijnautomatisatie te begrijpen. Het is noodzakelijk te onderzoeken hoe deze technologieën kunnen worden toegepast om magazijnprocessen verder te transformeren en optimaliseren. Dit onderzoek moet niet alleen de technische aspecten en toepassingsmogelijkheden van deze technologieën behandelen, maar ook de

praktische implementatie en integratie ervan in bestaande magazijnsystemen. Wanneer bedrijven in staat zijn om alle beschikbare gegevens uit geautomatiseerde systemen op te slaan en te analyseren, kunnen ze betere voorspellingen doen en de systemen beter op elkaar afstemmen. Hierdoor ontstaat een efficiënte samenwerking tussen de systemen, wat leidt tot een verbetering van het proces.

Inhoudstafel

WOORD VOORAF	I
SAMENVATTING	II
INHOUDSTAFEL	VI
LIJST MET FIGUREN	IX
HOOFDSTUK 1 ONDERZOEKSPPLAN	1
1.1 PRAKTIJKRELEVANTIE	1
1.1.1 <i>Betekenis automatisering</i>	1
1.1.2 <i>De uitdagingen binnen de logistieke sector</i>	2
1.1.3 <i>Probleemoriëntatie</i>	2
1.2 ONDERZOEKSVRAGEN	4
1.3 METHODOLOGIE	6
HOOFDSTUK 2 LITERATUURSTUDIE	9
2.1 DE FUNCTIE VAN MAGAZIJNEN	9
2.2 TWEE SOORTEN MAGAZIJNEN	9
2.2.1 <i>Slimme magazijnen versus traditionele magazijnen, de voordelen:</i>	10
2.2.2 <i>Slimme magazijnen versus traditionele magazijnen, de nadelen:</i>	11
2.3 EEN GEAUTOMATISEERD MAGAZIJN	11
2.4 OPTIMALISATIE VAN MAGAZIJNPROCESSEN	12
2.4.1 <i>De noodzaak van automatisatie van het orderpickingproces</i>	12
2.4.2 <i>Orderpickingsmethoden</i>	13
2.4.2.1 <i>Picker-to-parts</i>	15
2.4.2.2 <i>Parts-to-picker</i>	15
2.4.2.3 <i>Put-to-wall</i>	15
2.5 AUTOMATISERING VAN PROCESSEN	16
2.5.1 <i>Automatisatie: picker-to-parts</i>	16
2.5.1.1 <i>Pick-to-Light</i>	16
2.5.1.2 <i>Pick-by-Voice</i>	17
2.5.2 <i>Automatisatie: put-systeem</i>	17
2.5.3 <i>Automatisatie: parts-to-picker</i>	17
2.5.3.1 <i>Geautomatiseerde magazijnrobots</i>	18
2.5.3.2 <i>Drones</i>	19
2.5.3.3 <i>Geautomatiseerde opslagsystemen</i>	20
2.5.3.4 <i>Autostore-systeem</i>	21
2.6 VOORDELEN AUTOMATISATIE IN MAGAZIJNEN	22
2.6.1 <i>Verbetering van kostenefficiëntie en controleerbaarheid</i>	22
2.6.2 <i>Vervanging van handmatig werk</i>	22
2.6.3 <i>Verhoogde intelligentie en efficiëntie</i>	23

2.6.4	<i>Realtimedata en voorspellingsmodellen</i>	23
2.6.5	<i>Verbeterde klantenservice en concurrentievoordeel</i>	23
2.7	NADELEN AUTOMATISATIE IN MAGAZIJNEN	23
2.7.1	<i>Hoge investeringskosten</i>	24
2.7.2	<i>Mindset van het management</i>	24
2.7.3	<i>Technologische beperkingen</i>	24
2.7.4	<i>Onzekerheid bij werknemers</i>	25
2.8	HUIDIGE STAND VAN ZAKEN	25
2.8.1	<i>Technologische vooruitgangen</i>	26
2.8.2	<i>Geautomatiseerde opslag</i>	27
2.8.3	<i>Het verplaatsen van goederen</i>	27
HOOFDSTUK 3	KWALITATIEF ONDERZOEK	29
3.1	BEDRIJFSERVARINGEN AUTOMATISERING MAGAZIJNPROCESSEN	29
3.1.1	<i>Interview 1: Livlina</i>	29
3.1.1.1	<i>Inleiding: optimalisatie van logistieke processen in de farmaceutische sector</i>	29
3.1.1.2	<i>De werking van het magazijn:</i>	29
3.1.1.3	<i>Geautomatiseerde Systemen</i>	30
3.1.1.4	<i>Impact van Automatisering: Voordelen</i>	32
3.1.1.5	<i>Impact van Automatisering: Uitdagingen</i>	34
3.1.1.6	<i>Toekomst van automatisering</i>	36
3.1.2	<i>Interview 2: Atlas Copco</i>	37
3.1.2.1	<i>Inleiding</i>	37
3.1.2.2	<i>De toekomstige werking van het magazijn:</i>	38
3.1.2.3	<i>Geautomatiseerde systemen:</i>	39
3.1.2.4	<i>Impact van Automatisering: Voordelen</i>	40
3.1.2.5	<i>Impact van Automatisering: Uitdagingen</i>	41
3.1.2.6	<i>Toekomst van automatisering</i>	42
3.1.3	<i>Interview 3: Jaga</i>	42
3.1.3.1	<i>Inleiding</i>	42
3.1.3.2	<i>De werking van het magazijn:</i>	43
3.1.3.3	<i>Huidige implementatie</i>	43
3.1.3.4	<i>Reden tot geen geautomatiseerde systemen:</i>	44
3.1.3.5	<i>Toekomst van automatisering</i>	44
3.1.4	<i>Interview 4: Delta Pharma</i>	45
3.1.4.1	<i>Inleiding</i>	45
3.1.4.2	<i>De werking van het magazijn:</i>	46
3.1.4.3	<i>Geautomatiseerde systemen:</i>	46
3.1.4.4	<i>De impact van automatisatie: de voordelen</i>	47
3.1.4.5	<i>De impact van automatisatie: de uitdagingen</i>	48
3.1.4.6	<i>Toekomst van automatisering</i>	48
3.2	AUTOMATISERINGSKEUZES IN PRAKTIJK	48
3.2.1	<i>Conclusie van de vier interviews</i>	49

3.2.1.1	Gelijkenissen	49
3.2.1.2	Tegenstellingen	50
3.2.2	<i>Link tussen literatuurstudie en kwalitatief onderzoek</i>	51
	Efficiëntie en kostenbesparingen.....	51
	Hoge investeringskosten	52
	Menselijke tussenkomst	52
	De beperkingen van autostore	52
	Conclusie	53
HOOFDSTUK 4: CONCLUSIE.....		55
BELANGRIJKSTE BEVINDINGEN		55
AANBEVELINGEN EN BEPERKINGEN		56
	<i>Aanbevelingen</i>	56
	<i>Beperkingen rond automatisatie</i>	57
	<i>Beperkingen eigen onderzoek</i>	58
LITERATUURLIJST		59

Lijst met figuren

Figuur 1: De verwachte wereldwijde marktgrootte van magazijnautomatisatie (in euro) (Statista, 2023)	3
Figuur 2: Verborgen kosten van het handmatig onderpick-proces (SAT, z.d.)	4
Figuur 3: Typische functies van een magazijn (Ramaa et al., 2012)	9
Figuur 4: De materialen flow binnen een typisch geautomatiseerd magazijn (Azadeh et al., 2019).....	12
Figuur 5: De proportionele tijden voor de orderpickactiviteiten (Bolaños Zuñiga et al., 2020).....	13
Figuur 6: Pick rates traditioneel versus op automatisatie level (Peterson et al., z.d.)	13
Figuur 7: De classificatie van orderpicking methodes (Pinto et al., 2023)	14
Figuur 8: Pick-and-place process met menselijke interacties (Pugliese, 2022).....	15
Figuur 9: Put-to-wall systeem orderpicking (How a Warehouse Put Wall Strengthens Supply Chain Logistics BOLD VAN, z.d.).....	16
Figuur 10: Ergonomisch picking station (Boysen et al., 2023).....	18
Figuur 11: Automated guided vehicle / autonomous mobile robot (Mirzaei et al., 2021)	19
Figuur 12: Intralogistiek (Wawrla et al., z.d.)	19
Figuur 13: AS/RS systeem ('ASRS System AS/RS Automated Storage and Retrieval System Rack Frazier', z.d.).....	20
Figuur 14: Autostore systeem (Trost et al., 2022).....	21
Figuur 15: Implementatie binnen magazijnprocessen (Drissi Elbouzidi et al., 2023).....	26
Figuur 16: OSR-systeem ('Opslag', z.d.).....	30
Figuur 17: Highbay-systeem (Hoogbouwstellingen - Hoogbouw Palletrekken Stow, z.d.)	31
Figuur 18: Pickrobot (Pickrobot - Mecalux.be, z.d.)	31
Figuur 19: Depalrobot (OSARO Debuts AI-Powered Robotics for Mixed-Case Depalletization - OSARO, z.d.)	32
Figuur 20: Magazijn Sint-Niklaas en Tessenderlo LIVLINA, (Livlina, z.d.).....	32
Figuur 21: Autostore-systeem (AutoStore, z.d.)	39
Figuur 22: Voorbeeld van een verpakkingsrobot (KUKA Robots Take on the Handling of Specialized Packaging, z.d.)	40

Hoofdstuk 1 Onderzoeksplan

In dit eerste hoofdstuk wordt er allereerst de praktijkrelevantie uitgelegd. Daarna worden de opgestelde onderzoeksvragen toegelicht. Tot slot zal de methodologie van het onderzoek verder besproken worden.

1.1 **Praktijkrelevantie**

Automatisering in de logistieke sector is een heel relevant en actueel onderwerp. Door de ontwikkeling van E-commerce, het online winkelen dat sinds corona ook een stuk populairder is geworden doordat niemand meer fysiek naar de winkel kon (Trost et al., 2022). Hierdoor zijn mensen steeds meer online gaan bestellen en werd dit een handeling dat nu steeds meer gedaan wordt door de flexibiliteit, hierdoor worden de logistieke handelingen steeds belangrijker om aan de klanteisen te kunnen blijven voldoen en de beste service te kunnen aanbieden (info@valuechain.be, 2021). Ook door de globalisering van handel en de blijvende druk op efficiëntie om de processen makkelijker en zo ook beter en sneller te laten verlopen, wordt automatisering steeds interessanter voor bedrijven omdat dit processen soepeler kan laten verlopen. Hierdoor is de logistieke sector voortdurend aan het evolueren. Het begrijpen van de rol van automatisering in deze evolutie is daarom van groot belang (*3 redenen voor het belang van de logistiek in België | TL Hub news, z.d.*). Daarom zal er in deze thesis onderzocht worden hoe de automatisering van magazijnprocessen de afgelopen jaren is geëvolueerd en wat we nog kunnen verwachten voor de toekomst. Hierbij zal er vooral gefocust worden op de optimalisatie van het orderpickingproces.

1.1.1 **Betekenis automatisering**

Automatisering verwijst naar het gebruik van technologie en systemen om taken of processen uit te voeren met minimale of zelfs zonder directe menselijke betrokkenheid. Het doel is vaak efficiëntieverbetering, kostenvermindering en het verminderen van menselijke fouten (Servicenow, z.d.).

Een voorbeeld van automatisering binnen deze thesis is het volgende: een fabriek kan robots inzetten om tijdrovende taken zoals het hanteren van zware materialen uit te voeren (Motrac, z.d.).

Ontwikkelingen binnen e-commerce hebben als gevolg dat er nood is aan vooruitgang omdat de vraag van de klant steeds blijft veranderen. Dit heeft als gevolg dat de vraag van de bedrijven ook steeds verandert. Daarbij willen de klanten een betrouwbare relatie opbouwen met hun leverancier en daarbij ook een correcte levering. Omwille van het feit dat bedrijven willen voldoen aan de wensen van de klant waarbij de vraag steeds verandert, ontstaat er een sterkere behoefte om sneller en kostenbesparend te werken (Risch, J., 2023). Door te werken aan een omgeving waarin hieraan voldaan kan worden, ontstaan veel voordelen alsook nadelen. Bedrijven kunnen nu werken aan een foutloze productielijn maar ook kunnen de processen door automatisatie dag en nacht blijven doordoen (VMS, z.d.), en wordt de situatie op de werkvloer een stuk veiliger (Dataction, z.d.).

De automatisering binnen een warehouse kan verschillende vormen aannemen denk hierbij aan de automatisering van de voorraadverwerking, de orderverwerking, de lay-out van een warehouse etc. Toch zijn er nog veel bedrijven die automatisering nog niet implementeren binnen hun processen. In deze masterproef zal er worden achterhaald waarom zij hier nog niet in investeren, is dit een bewuste keuze of laat het budget dit nog niet toe.

1.1.2 De uitdagingen binnen de logistieke sector

Zoals eerder besproken staat de logistieke sector staat dagelijks voor een groot aantal uitdagingen waardoor de systemen van bedrijven regelmatig aangepast moeten worden. Bedrijven moeten snel kunnen reageren op deze veranderingen in de behoeften van de klanten en de veranderingen in de technologie (Risch, J., 2023). De veranderingen in de technologie en de groei van de e-commerce dragen enorm bij aan de aanpassingen binnen magazijnprocessen van bedrijven. Door gebruik te maken van semi-geautomatiseerde processen bij het tillen van producten, wordt zware werklast voor de werknemer verminderd en ook de kans op verwondingen kunnen hierdoor worden geminimaliseerd. Automatisatie is niet altijd de beste oplossing voor alle problemen of storingen. De kosten om zo een systeem te implementeren zijn namelijk heel hoog (TAWI, 2023).

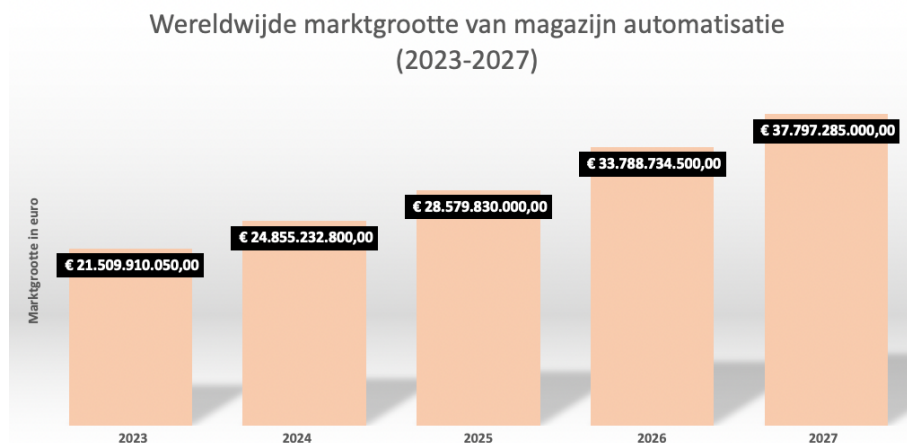
De automatisatie van de magazijnprocessen is een positieve oplossing voor de werkgever omdat bepaalde handelingen beter (vermindering van fouten) en sneller uitgevoerd kunnen worden. Daarbij kunnen robots ook dag en nacht werken waardoor de processen in theorie nooit hoeven te stoppen. Hierdoor kunnen de arbeidskrachten besteed worden aan andere taken (Alpega, 2023).

1.1.3 Probleemoriëntatie

De wereldwijde magazijnautomatisatie is een snel evoluerend en cruciaal aspect binnen de logistieke sector. De e-commerce-industrie is exponentieel gegroeid en daarbij zijn de verwachtingen van de klant ook toegenomen. Steeds meer consumenten wensen een betere service, denk hierbij aan nauwkeurige leveringen en daardoor ook de korte levertijden.

In 2019-2020 waren de rentetarieven enorm laag en daarbij kwam nog de coronapandemie die de groei van de e-commerce nog verder in de hand werkte. Deze factoren zetten bedrijven eraan toe om hun focus nog meer te leggen op de verdere automatisatie binnen hun magazijnen (Log!Ville, 2023).

Om processen te optimaliseren komen er veel technologische innovaties kijken zoals geautomatiseerde opslagsystemen, robotica, slimme data-analyse en geavanceerde orderpicking-technologieën (Dotoli et al., 2015). Door deze technologieën toe te passen, kan een onderneming beter inspelen op de groeiende vraag naar flexibiliteit in supply chain (Zhang et al., 2002).



Figuur 1: De verwachte wereldwijde marktgrootte van magazijnautomatisatie (in euro) (Statista, 2023)

Figuur 1 illustreert de wereldwijde marktwaarde voor magazijnautomatisering. Uit de gegevens blijkt dat de markt voor magazijnautomatisering in 2023 een totale waarde van meer dan 21 miljard euro bereikte. Prognoses suggereren een veelbelovende groei in de komende jaren, met een verwacht samengesteld jaarlijks groeipercentage (CAGR) van ongeveer 15 procent. Deze voorspelling impliceert dat tegen 2027 de marktwaarde zou kunnen oplopen tot bijna liefst 38 miljard euro (Placek, 2023).

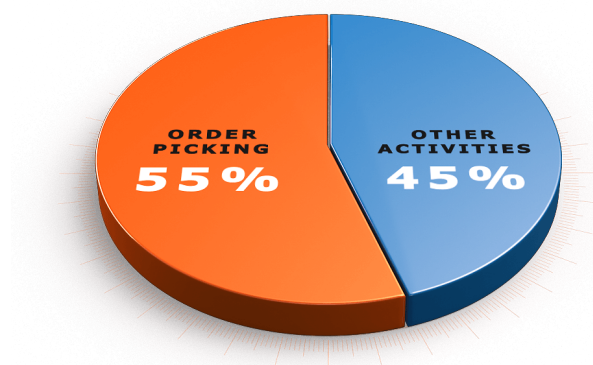
Figuur 1 biedt dus niet alleen inzicht in de huidige wereldwijde marktwaarde, maar dient ook als een visuele representatie van de verwachtingen voor de evolutie van de wereldwijde automatisatie van magazijnprocessen in de komende vier jaar.

Het vooruitzicht van een toenemend gebruik van robots in magazijnen vormt dus een boeiend onderzoeksgebied. Er kunnen discussies ontstaan rond het onderwerp of er nog werknemers nodig zijn wanneer ondernemingen zich meer zullen inzetten op automatisatie. Denk hierbij aan de dynamiek tussen automatisering en menselijke arbeid, de potentiële verschuivingen in de werkgelegenheid en de bredere impact op de arbeidsmarkt. (Essenburg, 2022). Hoewel er aanzienlijke vooruitgang is geboekt in geautomatiseerde en gerobotiseerde systemen in magazijnen, blijft de mens een essentiële rol in de toekomst van magazijnbeheer. Dit komt door hun specifieke vaardigheden en economische voordelen die ze bieden voor specifieke taken (Lorson et al., 2023).

Steeds meer mensen bestellen online en dit heeft als gevolg dat er op langere termijn ook meer werknemers nodig zijn in de magazijnen van e-commerce bedrijven. Het inzetten van robots betekent echter niet het einde van werknemers, deze worden enkel ingezet om het werk te vergemakkelijken en daardoor ook de productiviteit te verhogen aldus meneer Ash Sharma van Interact Analysis (Essenburg, 2022).

Echter wordt er in een geautomatiseerd magazijn individuele taken die handmatig uitgevoerd werden door de werknemers, wel zo veel mogelijk afgeschaft (Deng et al., 2018). Deze taken worden geautomatiseerd via computergestuurde transporttechnologie, machines en robots. Een volledig geautomatiseerd magazijn is een aaneengesloten netwerk dat bestuurd wordt door centrale software. Deze software zal vervolgens alle magazijnlogistiek aansturen (MagazijnGids, 2022).

Hieronder is een figuur te zien waarin de kosten van handmatig orderpicken duidelijk worden.



Figuur 2: Verborgene kosten van het handmatig orderpick-proces (SAT, z.d.)

Binnen magazijnen is vastgesteld dat de activiteit van 'orderpicking' aanzienlijke tijd en kosten met zich meebrengt. Dit komt voornamelijk door de grote hoeveelheid handmatig werk die hiermee gepaard gaat (Grosse et al., 2013). Figuur 2 geeft een visueel overzicht van de verborgen kosten in het orderpickingproces, hieruit blijkt dat 55% van de operationele kosten van een magazijn uitgaat naar het handmatig orderpick-proces. Activiteiten die voortvloeien uit het foutief gepickte producten herstellen, het herordenen van items, zoekacties en andere fysieke taken zoals tillen, staan gelijk aan 50% van deze orderpick-kosten. De andere helft van die 55% aan kosten komt voort uit verplaatsingen binnen het magazijn (Sat, z.d.).

1.2 Onderzoeksvragen

Aan de hand van de bovenstaande praktijkrelevantie kan er gesteld worden dat de automatisering van de magazijnprocessen heel erg in trek is bij veel bedrijven. Daarbij is dit ook een zeer belangrijk aandachtspunt voor bedrijven om te kunnen blijven concurreren. Er bestaan veel verschillende manieren om aan optimalisatie te doen van de magazijnprocessen. Het doel van automatisatie is om alle processen binnen het magazijn sneller en efficiënter te laten verlopen. Het doel van deze masterproef is om te kunnen vaststellen waarom bedrijven precies aan automatisatie doen en welke ervoor kiezen om dit niet te doen. Voor de bedrijven die ervoor kiezen om automatisatie wel toe te passen binnen hun magazijnen, kan er verder onderzocht worden op welke manier zij dit doen. Om hierop een antwoord te vinden, werd de volgende centrale onderzoeksvraag opgesteld:

“Hoe verliep de ontwikkeling van de automatisering binnen magazijnprocessen de afgelopen jaren?”

Om een goed antwoord te kunnen geven op deze hoofdvraag, zijn er verschillende deelvragen opgesteld om het onderzoek beter in te delen.

1.2.1 Waarom zouden logistieke bedrijven aan automatisatie willen/moeten doen?

Ondernemingen die actief zijn in de logistieke sector kunnen automatisatie najagen vanwege de eventuele voordelen die dit met zich meebrengt. Voor sommige bedrijven is automatisering van hun magazijnen zelfs een must als ze nog willen concurreren binnen hun markt, denk hierbij aan de

kostenbesparingen en de concurrentievoordelen die automatisatie met zich meebrengt. Bedrijven zullen wel de investeringskosten van automatisatie moeten vergelijken en berekenen om te kijken of dit binnen hun processen ook winstgevend blijkt te zijn. Door bepaalde processen te optimaliseren kan een bedrijf zich onderscheiden en werken aan een betere klantentevredenheid.

1.2.2 Wat zijn de huidige uitdagingen en trends van automatisatie?

Automatisering wordt steeds belangrijker, echter brengt dit voor bedrijven vaak veel aanpassingen met zich mee. Elke vorm van automatisering en daarbij optimalisatie binnen magazijnen komt met een bepaalde complexiteit en/of kost. Daardoor is het implementeren van automatisering binnen magazijnprocessen een grote uitdaging voor deze ondernemingen. Bovendien veranderen deze technologieën snel waardoor bedrijven goed op de hoogte dienen te blijven van trends binnen deze materie.

1.2.3 Welke vormen van automatisering binnen magazijnen bestaan er?

Er bestaan verschillende mogelijkheden om automatisering toe te passen binnen magazijnen. Binnen dit onderzoek worden verschillende vormen bestudeerd. Magazijnautomatisering een belangrijk en actueel onderwerp binnen de logistieke sector. Door dit onderwerp te behandelen, worden de nieuwste ontwikkelingen en trends binnen het vakgebied duidelijk weergegeven. Door de verschillende vormen van automatisatie te onderzoeken en te bespreken, kan er nagegaan worden welke vormen het beste in bepaalde omstandigheden gebruikt kan worden. Denk hierbij aan de lay-out van een magazijn, de middelen die een bedrijf ter beschikking heeft om hun magazijn te automatiseren enzovoort.

1.2.4 Wat zijn de voordelen en de nadelen van automatisering?

De magazijnen efficiënter maken is een van de grootste doelen van automatisering maar er zijn nog veel meer voordelen die automatisatie met zich meebrengt, deze worden verder onderzocht in dit onderzoek. Maar naast alle voordelen zijn er ook een aantal nadelen voor bedrijven, zoals de hoge investeringskosten om überhaupt te kunnen doen aan automatisering.

1.2.5 Wat zijn de ervaringen van bedrijven die hebben gekozen voor automatisering en van de bedrijven die nog niet aan automatisering doen (met behulp van kwalitatief onderzoek)?

Door kwalitatief onderzoek toe te passen binnen dit onderzoek kan er nagegaan worden welke bedrijven automatisering hebben toegepast en wat de economische gevolgen zijn. Daarnaast kan er nagegaan worden welke bedrijven dat nog niet hebben gedaan en waarom. Hierdoor kunnen we inzicht krijgen in de ervaringen, voordelen en uitdagingen.

1.2.6 Wat zijn de toekomstige ontwikkelingen en verwachtingen met betrekking tot de automatisering in de logistiek?

Door inzichten te verzamelen over hoe deze ontwikkelingen de logistieke sector zullen gaan beïnvloeden met daarbij ook de eventuele voordelen en de uitdagingen voor bedrijven, kan er een

waardevolle leidraad opgesteld worden die bedrijven kunnen gebruiken bij het inplannen van hun toekomstige strategieën.

1.3 Methodologie

Onderzoeksmethode 1: literatuurstudie

Argumentatie: Literatuurstudie helpt enorm bij het thuisbrengen van relevante theorieën, ontwerpen en eerdere onderzoeken, waardoor er een goede basis gezet kan worden voor dit onderzoek.

Er zal gebruik gemaakt worden van verschillende bronnen en methoden, dit biedt de mogelijkheid om veel informatie te verzamelen vanuit verschillende standpunten, waaronder wetenschappelijke artikels, cijfergegevens, casestudies, cursussen en historische bronnen. Deze bronnen worden gevonden door gebruik te maken van platformen zoals Google Scholar, Web of Science, Scopus etc. De verscheidenheid aan bronnen kan de geloofwaardigheid en diepgang van deze masterproef versterken. Door gebruik te maken van trefwoorden kunnen er verschillende relevante artikelen gevonden worden, hierna zal er een selectie worden gemaakt van de meest relevante artikelen voor dit onderzoek.

Daarna zullen de gevonden gegevens en informatie verder worden geanalyseerd om bestaande kennis, methoden en modellen te begrijpen. De literatuurstudie rechtvaardigt de noodzaak van het onderzoek en biedt een theoretisch kader.

Onderzoeksmethode 2: Kwalitatieve bevraging: interview met managers in de logistieke sector

Argumentatie: Bij de kwalitatieve bevraging zal er worden gezocht naar informatie die rechtstreeks van de experts komt. Hier wordt er dieper ingegaan op bepaalde onderzoeksvragen die beknopt op het internet stonden of in wetenschappelijke artikels werden beschreven. Door de ervaringen van bedrijven te onderzoeken en te begrijpen, worden alle onderzoeken die werden uitgevoerd tijdens de literatuurstudie duidelijker door de ervaringen in praktijk. Hierdoor wordt er een realistisch beeld gevormd over de automatiseringsprocessen die bedrijven toepassen en waarom zij voor bepaalde processen kiezen.

De interviews zorgen voor objectiviteit binnen het onderzoek en daardoor worden eigen mening of eigen oordelen geminimaliseerd bij het bijeenbrengen van alle gegevens. Er is gekozen om binnen deze masterproef verder te gaan met interviews, deze zullen worden afgenomen bij managers in logistieke bedrijven. Dit maakt het mogelijk om de meest recente informatie en inzichten van deze experts op dit specifieke gebied te verzamelen.

Daarnaast kunnen interviews helpen bij het beoordelen van de mate waarin automatisering wordt toegepast in magazijnen. Door gerichte vragen te stellen over het gebruik van automatiseringstechnologieën, kan er achterhaald worden welke technologieën worden gebruikt en welke voordelen of uitdagingen hieraan verbonden zijn.

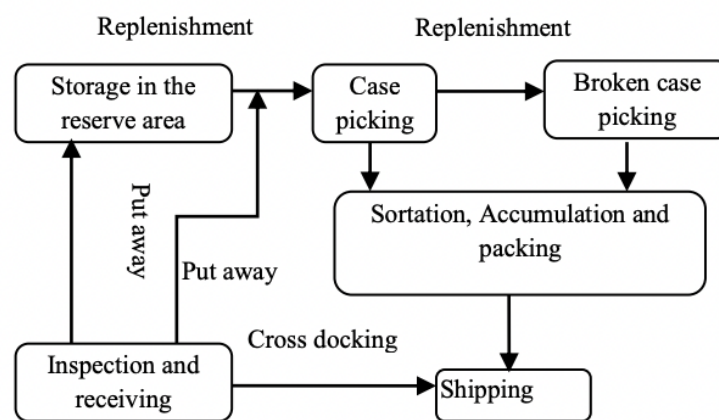
Door deze interviews kan ook de impact van automatisering op het magazijnbeheer geëvalueerd worden. Er kan een inzicht verkregen worden in welke mate automatisering de efficiëntie, nauwkeurigheid en kostenbesparing beïnvloedt en welke verdere verbeteringen mogelijk zijn.

De bevraging zal doorgaan bij ongeveer 5 bedrijven binnen de logistieke sector. Door verschillende bedrijven te bevragen kan er een beter beeld verkregen worden over hoe het eraan toe gaat in realiteit.

Hoofdstuk 2 Literatuurstudie

2.1 De functie van magazijnen

Magazijnen spelen een cruciale rol in elke toeleveringsketen door te fungeren als opslagfaciliteiten voor goederen in verschillende fasen van het proces (Bartholdi & Hackman, 2016). Een magazijn is een faciliteit in de supply chain die producten consolideert om transportkosten te verminderen, schaalvoordelen te behalen in productie of inkoop, of waarde toe te voegen door processen te optimaliseren en de responstijd te verkorten (Baker et al., 2009). Magazijnbeheer wordt ook erkend als een cruciale operatie waar bedrijven op maat gemaakte diensten kunnen aanbieden aan hun klanten en daarmee een concurrentievoordeel kunnen behalen (Gu et al., 2007).



Figuur 3: Typische functies van een magazijn (Ramaa et al., 2012)

Figuur 3 toont een overzicht van de typische processen binnen een magazijn. De gebruikelijke activiteiten in een magazijn omvatten het ontvangen van goederen, het opslaan ervan op toegewezen locaties, het intern aanvullen van voorraad, het verzamelen van orders, het sorteren van verzamelde goederen, het verpakken van producten voor verzending, het toepassen van cross-docking om doorvoertijden te minimaliseren, en uiteindelijk het verzenden van goederen naar hun bestemming. Deze activiteiten vormen samen een geïntegreerd proces om het efficiënte beheer van voorraad en de vlotte afhandeling van klantbestellingen te waarborgen (Ramaa et al., 2012). Magazijnen spelen een cruciale rol in het logistieke proces, waarbij ongeveer 20 procent van de totale logistieke kosten naar de magazijnen gaat (Baker & Halim, 2007).

2.2 Twee soorten magazijnen

Onder dit onderdeel van de masterproef zal er een vergelijking gemaakt worden tussen een geautomatiseerd magazijn en een traditioneel magazijn op basis van processen of activiteiten, problemen, prestaties en efficiëntie. Op deze manier zal er onderzocht worden hoe nieuwe technologieën waarde kunnen toevoegen aan de processen en operaties van magazijnbeheer (Kamali, 2019).

Een traditioneel magazijn maakt voornamelijk gebruik van handmatige processen en basisopslagtechnieken zonder veel automatisering of geavanceerde technologieën. Werknemers zijn vaak belast met het handmatig uitvoeren van taken zoals orderpicking en het verplaatsen van goederen. Hoewel traditionele magazijnen nog steeds effectief kunnen zijn, kunnen ze minder efficiënt zijn en meer kans op fouten hebben in vergelijking met slimme magazijnen.

Er heeft zich doorheen de jaren een verandering voorgedaan in de detailhandelsmarkt, gesteund door de groei van technologie, smartphones en slimme apparaten. Dit heeft vooral de manier waarop mensen tegenwoordig goederen aanschaffen drastisch veranderd. Online winkelen en transacties vertonen een constante groei, klanten zijn steeds veeleisender en daarbij streven ze naar directe bevrediging door bestellingen te plaatsen en snelle levering te verwachten (Garg & Agrawal, 2020). Gezien het belang van het opslaan en ophalen van goederen, is de huidige trend gericht op automatisering van magazijnbeheersystemen en het gebruik van nieuwe technologieën, een magazijn dat gebruik maakt van deze vernieuwingen wordt ook wel een slim magazijn genoemd (Faveto et al., 2021).

In een slim magazijn worden menselijke handelingen vergemakkelijkt aan de hand van verschillende technologieën en vormen van automatisatie. Verschillende functies, zoals optimale orderpicking en optimale productplaatsing, worden geïmplementeerd met behulp van verschillende algoritmen in slimme magazijnbeheersystemen (Colakovic et al., 2020). Internet of Things (IoT)-technologie wordt bijvoorbeeld toegepast voor het ontwerpen van slimme magazijnmonitorings- en -besturingssystemen. De componenten van een op IoT gebaseerd systeem omvatten sensoren, actuatoren, cloud-systemen voor gegevensopslag en -verwerking, programma's voor gegevensverwerking en visualisatie etc. (Ding, W., 2013).

2.2.1 Slimme magazijnen versus traditionele magazijnen, de voordelen:

In het onderdeel 2.2 is er een onderscheid gemaakt tussen de traditionele magazijnen en de slimme magazijnen, hieronder is er een overzicht te zien van de voordelen van slimme magazijnen tegenover traditionele magazijnen:

- **Realtime informatie**

Slimme magazijnen verkrijgen realtime informatie, wat in traditionele magazijnen niet mogelijk is (Min, 2023).

- **Minimalisering van handmatige taken**

Handmatige taken worden geminimaliseerd en de automatisering van taken wordt gemaximaliseerd, waardoor werknemers zich kunnen richten op taken met hoge toegevoegde waarde (Zuchowski, 2022).

- **Verbeterde operationele schaalbaarheid**

De operationele schaalbaarheid wordt verbeterd met slimme magazijnen, omdat het bijwerken van de infrastructuur makkelijker is dan het bijwerken van het menselijk kapitaal binnen de organisatie (van Geest et al., 2022).

- **Geautomatiseerde beslissingen**

Geautomatiseerde beslissingen worden genomen met behulp van voorspellingsmodellen, waarbij alle informatie onmiddellijk wordt opgeslagen en gebruikt kan worden voor nauwkeurige voorspellingen (Zhen & Li, 2022).

- **Aanpassingsvermogen aan klantvraag**

Slimme magazijnen kunnen zich gemakkelijker aanpassen aan veranderende klantvraag en processen dan traditionele magazijnen, waar menselijke handelingen moeten worden aangepast (van Geest et al., 2022).

- **Gebruik van slimme sensoren**

Slimme sensoren monitoren kostbare apparatuur, waardoor de uitvaltijd van services wordt geminimaliseerd (van Geest et al., 2022).

2.2.2 Slimme magazijnen versus traditionele magazijnen, de nadelen:

In het onderdeel 2.2 is er een onderscheid gemaakt tussen de traditionele magazijnen en de slimme magazijnen, hieronder is er een overzicht te zien van de nadelen van slimme magazijnen tegenover traditionele magazijnen:

- **Kosten**

De kosten voor het bouwen van een slim magazijn zijn hoger dan die van traditionele magazijnen (van Geest et al., 2022)

- **Transitieperiode**

De overgang naar een slim magazijn is een tijdsintensief proces dat veel inspanning vereist (Min, 2023)

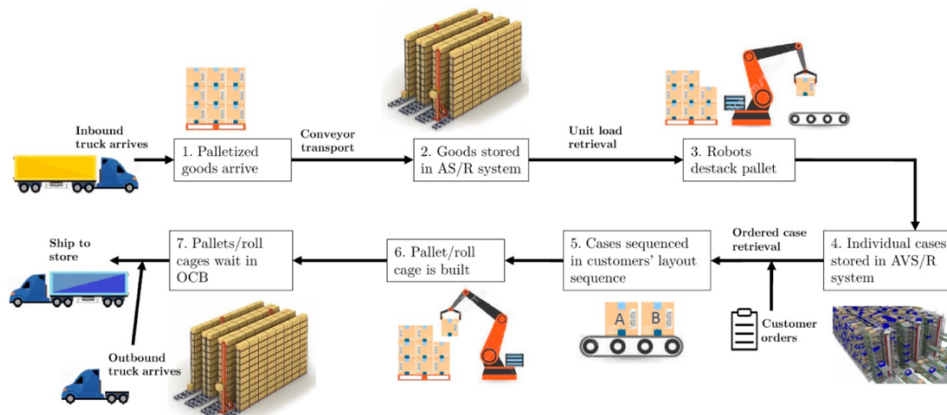
- **Management**

De overgang naar een slim magazijn vereist de steun van het topmanagement. Om alle technologieën goed samen te laten werken en om alle processen te controleren en data te analyseren (van Geest et al., 2022)

2.3 Een geautomatiseerd magazijn

Automatisatie is een instrument geworden dat bedrijven kunnen gebruiken om hun concurrentiepositie te versterken. De voortdurende vooruitgang in technologieën zoals artificiële intelligentie, robotica en geavanceerde software biedt bedrijven de mogelijkheid om repetitieve taken te stroomlijnen, menselijke fouten te verminderen en waardevolle middelen vrij te maken voor meer strategische en creatieve taken (Hompel, M., & Schmidt, T., 2006).

Op figuur 4 is een volledig geautomatiseerd magazijn te zien met de verschillende stappen om een beter beeld te krijgen bij deze implementatie.



Figuur 4: De materialen flow binnen een typisch geautomatiseerd magazijn (Azadeh et al., 2019)

Magazijnprocessen worden in de loop der tijd dus steeds complexer en de vraag van klanten heeft nieuwe vormen aangenomen. Dit leidt tot de noodzaak om aan te passen naar een slim magazijn. De belangrijkste waargenomen drijfveren zijn externe bedreigingen, strategische voordelen, toegenomen hoeveelheid data, magazijncomplexiteit, operationele flexibiliteit en klantenvraag. De meest voorkomende drijfveer om magazijnprocessen te optimaliseren is magazijncomplexiteit en daarop volgt de klantenvraag (van Geest et al., 2022).

2.4 Optimalisatie van magazijnprocessen

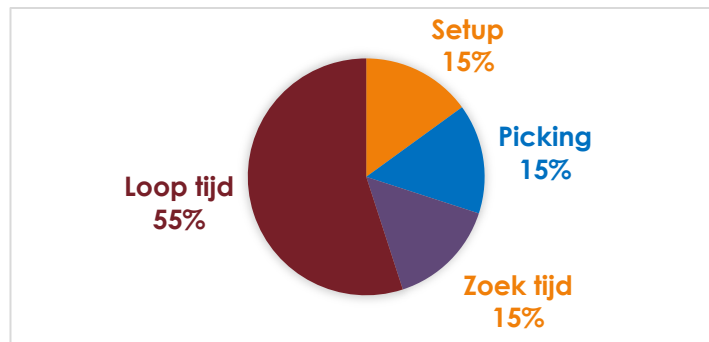
De magazijnprocessen kunnen worden ingedeeld in vier grote categorieën namelijk:

- Orderpicking
- Opslagbeheer en inventarisbeheer
- Verpakking en verzending
- Data en rapportage

Binnen deze masterproef zal er vooral verder ingezoomd worden op het orderpickingproces. Dit is relevant omdat 55% van de operationele kosten het orderpicking proces omvat (De Koster et al., 2012).

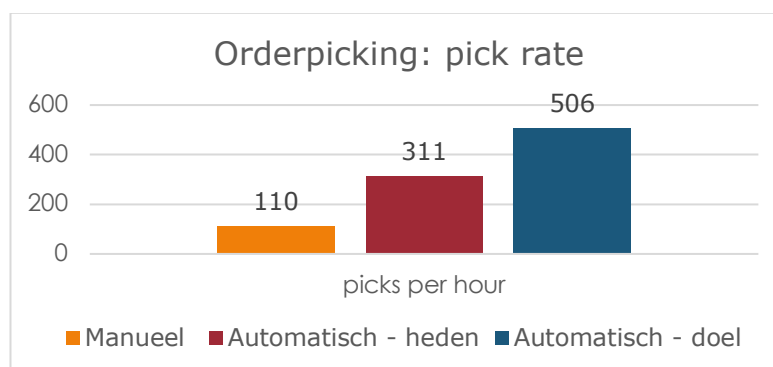
2.4.1 De noodzaak van automatisatie van het orderpickingproces

Orderpicking vormt een kernonderdeel van de dagelijkse activiteiten in een magazijn en omvat het proces waarbij werknemers handmatig producten selecteren en verzamelen uit de opslaglocaties om vervolgens bestellingen samen te stellen voor verzending naar klanten. Het draait hierbij om het verzamelen van artikelen die door externe of interne klanten worden besteld (Petersen & Schmenner, 1999). Nadat deze stap is voltooid kan de werknemer weer verder met het verpakken en eventueel toegevoegde waarde bij te voegen aan de bestelling, zoals labels toevoegen zodat de bestelling verzonden kan worden. Orderpicken is van cruciaal belang voor een flexibel verloop binnen de processen (Scholz et al., 2017).



Figuur 5: De proportionele tijden voor de orderpickactiviteiten (Bolaños Zuñiga et al., 2020)

Op figuur 5 is te zien dat het traditionele proces van orderpicking waarbij menselijke orderpickers van rek naar rek gaan om items te verzamelen volgens een picklijst, het meeste tijd in beslag neemt in het orderpickingproces tegenover de setup tijd, de picking tijd en de zoektijd. Deze langere duur beïnvloedt de totale doorlooptijd van het orderpickingproces wat leidt tot veel bewegingen van orderpickers door het magazijn. De arbeidsintensiteit van loopafstanden die de werknemers moeten afleggen dragen bij aan een aanzienlijk deel van de operationele kosten. Om deze kosten te verlagen en de productiviteit te verhogen is het optimaliseren van het orderpickingproces van groot belang (Moeller, K., 2011).



Figuur 6: Pick rates traditioneel versus op automatisatie level (Peterson et al., z.d.)

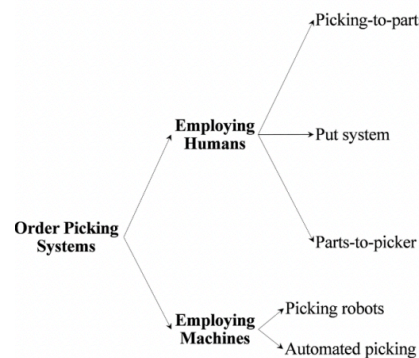
Figuur 6 illustreert de nauwe relatie tussen pick-snelheden en het niveau van automatisering binnen het orderpickingproces, bij de methode parts-to-picker. Deze grafiek benadrukt dat naarmate de automatisering toeneemt, de pick-snelheden stijgen. Geautomatiseerd orderpicken blijkt ongeveer 4 keer effectiever te zijn dan handmatig orderpicken. Deze bevinding benadrukt het belang van automatisering bij het optimaliseren van het orderpickingproces binnen magazijnen. Bij het overwegen van de verbetering in efficiëntie door automatisering te implementeren, wordt duidelijk dat een magazijn elke dag 4 keer minder medewerkers nodig zou hebben om dezelfde pick-snelheid te behouden als bij handmatig picken (Peterson et al., n.d.).

Figuur 6 benadrukt dus de cruciale rol van automatisering in het streven naar efficiëntieverbetering en kostenoptimalisatie binnen het orderpickingproces.

2.4.2 Orderpickingsmethoden

Orderpicking is dus een essentieel proces binnen magazijnbeheer waarbij producten worden verzameld en samengevoegd volgens specifieke bestellingen of picklijsten. Het omvat het vinden, selecteren en verzamelen van items uit hun opslaglocaties in het magazijn, meestal door personeel of geautomatiseerde systemen (de Koster et al., 2007).

Om het orderpickingsproces zo goed mogelijk te optimaliseren kunnen er verschillende methoden toegepast worden die verder worden onderverdeeld in drie grote categorieën namelijk, zoals te zien op figuur 7: Picker-to-parts, het Put-systeem en Parts-to-picker (Pinto et al., 2023). De keuze van orderpickingmethode hangt af van de volumes van de producten en ook van het soort product (Scholz et al., 2017).

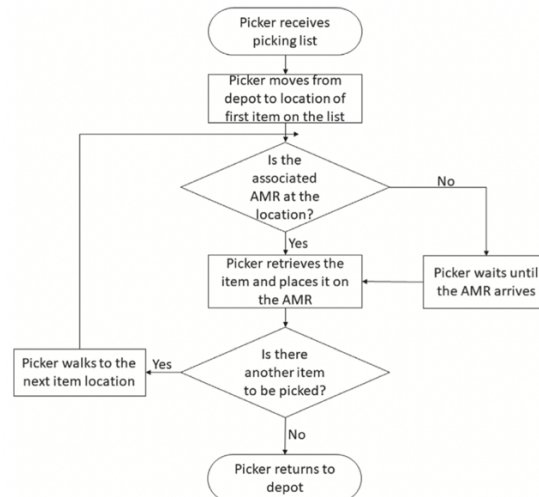


Figuur 7: De classificatie van orderpicking methodes (Pinto et al., 2023)

Deze drie categorieën laten verschillende benaderingen zien om producten te verzamelen. Ook houden deze methoden elk op hun eigen manier rekening met andere variabelen zoals de magazijnlay-out, de verschillende SKU's, de ordergroottes en de beschikbare technologische vooruitgangen binnen de infrastructuur van magazijnen. Er wordt ook een onderverdeling gemaakt tussen het toewijzen van taken aan mensen of aan machines, er kan gekozen worden om een activiteit volledig automatisch te laten verlopen of met een hybride systeem waarbij een deel van het proces automatisch verloopt en een deel met menselijke handelingen gebeurt (Pinto et al., 2023).

De volgende sectie bespreekt deze 3 verschillende categorieën om producten te verzamelen tijdens het orderpickingproces.

2.4.2.1 Picker-to-parts



Figuur 8: Pick-and-place proces met menselijke interacties (Pugliese, 2022)

Figuur 8 illustreert het proces waarbij werknemers aangesteld worden om de producten uit de rekken te halen om de orders te voltooien, ook wel picker-to-parts genoemd (Napolitano, 2012). Om de methode picker-to-parts zo goed mogelijk uit te voeren, is een gestructureerde aanpak vereist. Wanneer een order binnenkomt, geeft het systeem aan welke specifieke items opgehaald moeten worden om de order te voltooien. Wanneer de orderpickers dit signaal ontvangen, verplaatsen ze zich naar de aangewezen opslaglocaties. Dit doen de werknemers aan de hand van vooropgestelde looproutes door het magazijn. Op deze manier kunnen de orderpickers efficiënt hun tijd benutten wanneer ze de benodigde producten aan het verzamelen zijn (Azadeh et al., 2017).

2.4.2.2 Parts-to-picker

Het parts-to-picker proces is een efficiënte methode die wordt toegepast bij het verzamelen van orders in magazijnen. In dit proces worden de items niet door werknemers verzameld door het magazijn te doorkruisen, maar worden de items naar specifieke pickstations gebracht. Deze items worden vaak opgeslagen in gestandaardiseerde bakken, trays of containers die zijn opgeslagen in geautomatiseerde opslagsystemen zoals Autostore of Automated Storage and Retrieval Systems (AS/RS). Wanneer een order wordt ontvangen, detecteert het systeem automatisch de locatie van de benodigde items en brengt deze naar het juiste pickstation (Mirzaei et al., 2021). Op deze manier wordt het hele orderverzamelp proces gestroomlijnd doordat de items naar de pickers worden gebracht in plaats van andersom. Dit vermindert de loopafstanden voor de werknemers en verhoogt de efficiëntie van het orderverzamelp proces aanzienlijk (Martina et al., 2018).

2.4.2.3 Put-to-wall

Het put-systeem in magazijnen verwijst naar het proces waarbij producten eerst via een transportband tot de orderpicker worden getransporteerd. Hierna haalt de orderpicker de artikelen uit de bakken (op de transportband) en plaatst ze, volgens het put-to-light systeem, in de putwand volgens bestelling (Staff, 2014). Deze wand is een eenvoudig rek met meerdere schappen die elk tijdelijk zijn toegewezen aan een specifieke klantenorder, zie figuur 9. Aan de andere kant van de wand staan inpakmedewerkers die de schappen legen en de bestellingen in kartonnen dozen

verpakken (Boysen et al., 2019). Dit systeem kan zowel gebruikt worden bij parts-to-picker als bij picker-to-parts.



Figuur 9: Put-to-wall systeem orderpicking (How a Warehouse Put Wall Strengthens Supply Chain Logistics | BOLD VAN, z.d.)

Put walls hebben doorgaans beperkte capaciteit en kunnen slechts een deel van de ontvangen orders tegelijk verwerken. Daarom moet de planning van de orders op de put wall worden overwogen, samen met de orderbundeling en de route van de orderpicker (Ardjmand et al., 2019).

2.5 Automatisering van processen

De methoden die besproken werden in 2.3.1 kunnen aan de hand van slimme technologieën worden verbeterd, vergemakkelijkt of zelfs volledig worden geautomatiseerd. In dit onderdeel zullen deze technologieën verder worden uitgelegd en hoe dit geïmplementeerd kan worden binnen de verschillende methoden die eerder besproken werden.

2.5.1 Automatisatie: picker-to-parts

Binnen het picker-to-parts systeem kan automatisatie plaatsvinden door systemen in te voeren die de orders samenstellen zonder of met zo weinig mogelijk menselijke handelingen en dat voor een vooraf bepaalde vervaldatum (Boysen et al., 2019). Er zijn veel technologieën die het proces van orderpicken een stuk makkelijker maken. Medewerkers krijgen apparatuur toegereikt waardoor het orderpicken efficiënter kan gebeuren. Voorbeelden hiervan zijn: RFID handhelds, barcode handhelds, voice picking, pick-to-light, etc. (Battini et al., 2015).

Hieronder volgen enkele methoden die veel gebruikt worden binnen het picker-to-parts systeem:

2.5.1.1 Pick-to-Light

Dit is een orderverzamelsysteem dat gebruik maakt van visuele hulpmiddelen, zoals lichtgevende displays, om orderpickers te begeleiden bij het verzamelen van producten in een magazijn of distributiecentrum. Dit systeem is ontworpen om de efficiëntie te verhogen en fouten bij het orderpicken te minimaliseren.

In een Pick-by-Light-systeem is elke opslaglocatie in het magazijn uitgerust met een lichtgevend display, vaak geïntegreerd in het opslagrek of de opslagbak. Wanneer een orderpicker een specifiek

product moet verzamelen, wordt de informatie over het product en de locatie weergegeven op het lichtgevende display bij de relevante opslaglocatie (de Vries et al., 2016).

2.5.1.2 Pick-by-Voice

Pick-by-voice, ook bekend als stemgestuurd orderpicken, is een systeem voor orderverzamelen dat gebruik maakt van spraaktechnologie om orderpickers te begeleiden tijdens het verzamelen van producten in een magazijn of distributiecentrum. Dit systeem draagt bij aan een efficiënter en nauwkeuriger orderpickingproces.

Bij pick-by-voice krijgt elke orderpicker een draadloze hoofdtelefoon en microfoonsysteem. Het systeem is gekoppeld aan een centraal computersysteem. Wanneer een orderpicker een nieuwe pickopdracht ontvangt, levert het systeem gesproken instructies rechtstreeks aan de orderpicker via de hoofdtelefoon (Dujmešić et al., 2018).

2.5.2 Automatisatie: put-systeem

Put-to-Light is een veel gebruikte methode binnen het put-systeem, dit is een orderafhandelingssysteem dat specifiek ontworpen is voor magazijnen om het plaatsen van producten in rekken te optimaliseren. Producten worden geplaatst in de rekken volgens bepaalde categorieën bijvoorbeeld producten die vaak samen verkocht worden die liggen dicht bij elkaar. Dit innovatieve systeem maakt gebruik van visuele indicatoren, zoals heldere lichten of digitale displays, om werknemers op een efficiënte manier te begeleiden bij het plaatsen van producten in de juiste opslaglocaties (Poudel, z.d.).

Zodra een order wordt ontvangen, identificeert het systeem de specifieke items die geplaatst moeten worden en vervolgens wijst dit systeem de taken toe aan de werknemers. Elke opdracht komt overeen met een specifiek product en een aangewezen opslaglocatie binnen het magazijn. Terwijl werknemers de visuele aanwijzingen volgen, plaatsen ze de producten op de aangewezen opslaglocaties. Zodra de plaatsing is voltooid, wordt dit direct in het systeem geregistreerd, wat bijdraagt aan real-time voorraadbeheer en nauwkeurige orderverwerking (Encinas et al., 2022)

2.5.3 Automatisatie: parts-to-picker

Het doel van dit systeem is het automatisch verplaatsen van producten met een bepaalde SKU naar de orderverzamelaars aan hun workstation. Doordat deze producten automatisch aankomen bij het workstation, kunnen de orderverzamelaars zich focussen op het samenstellen van de orders, verpakken en tot slot het versturen ervan. Dit systeem heeft dus de omgekeerde werking van picker-to-parts; in plaats van dat de werknemer zich naar de producten begeeft, worden de producten naar de werknemer gebracht via dit geautomatiseerde systeem (Boysen et al., 2017).

Hoewel nog veel bedrijven hun warehouses laten opereren aan de hand van handmatig orderpicken, kan dit systeem veel kansen bieden in magazijnen (Bonkenburg, 2016). In een parts-to-picker systeem wordt het geautomatiseerde proces in gang gezet zodra er een order binnenkomt. In plaats van dat de orderpicker naar de opslaglocaties loopt en handmatig de producten bij elkaar verzamelt,

wordt het geautomatiseerde opslagsysteem geactiveerd. Hierbij worden de producten die nodig zijn voor een bepaalde order automatisch opgehaald en naar het pickstation getransporteerd. De order zal vervolgens verder verwerkt worden door de orderpicker aan het pickstation (Litvak & Vlasiou, 2010).

Deze aanpak biedt aanzienlijke voordelen, vooral in magazijnen met een uitgebreid productenprogramma. De geautomatiseerde transportprocessen verminderen aanzienlijk de loopafstanden, of soms zelfs volledig, zoals te zien in figuur 10, die werknemers normaal zouden moeten afleggen. Hierdoor wordt niet alleen de snelheid en efficiëntie van het orderpickingproces verhoogd, maar ook de werkdruk van de werknemers verminderd, gezien ze geen tijd verliezen door de afstanden die ze bij het picker-to-parts systeem moeten afleggen. Daardoor komt er ook meer tijd vrij voor andere taken (Vijayakumar et al., 2021).



Figuur 10: Ergonomisch picking station (Boysen et al., 2023)

Dit proces kan de efficiëntie van het ordervverzamelproces verbeteren. Hieronder worden enkele manieren opgesomd waarop het "parts-to-picker" proces kan worden geïmplementeerd aan de hand van verschillende technologieën en vormen van automatisatie.

2.5.3.1 Geautomatiseerde magazijnrobots

Pickrobots zijn geavanceerde mechatronische systemen die naadloos zijn geïntegreerd om autonoom verschillende taken uit te voeren, waaronder het picken, dragen en sorteren van items. Door het gebruik van deze pickingrobots wordt de productie-efficiëntie aanzienlijk verhoogd in diverse omgevingen (Xiang et al., 2023). Voorbeelden van magazijnrobots zijn Automated Guided Vehicles (AGV) en autonomous mobile robots (AMR), zie figuur 11. Deze worden in magazijnen gebruikt voor geautomatiseerd goederentransport. Deze voertuigen navigeren door het magazijn met behulp van geavanceerde technologieën zoals camera's en sensoren. De navigatiesystemen stellen AGV's in staat om hun positie te bepalen en optimale routes te plannen (Le-Anh & De Koster, 2006).

AGV's voeren vooraf geprogrammeerde taken uit, zoals het ophalen van goederen uit opslaglocaties en het brengen naar specifieke bestemmingen, zoals de juiste picklocaties (Mirzaei et al., 2021). Het magazijn moet worden aangepast aan de navigatiesystemen van AGV's, waarbij infrastructuur zoals magnetische strips, sensoren of gemarkeerde zones wordt geïmplementeerd. Het ontwerp van het magazijn is cruciaal voor een efficiënte werking van AGV's (De Ryck et al., 2020).

Magazijnrobots, zoals te zien in figuur 11, zijn doorgaans ontworpen om een hele laag dozen op te pakken vanaf de oorspronkelijke pallet en deze te plaatsen op een distributie- en sorteersysteem bestaande uit meerdere transportbanden. Dit geldt zelfs in het geval van lichte dozen of wanneer slechts een paar dozen vanaf de pallet moeten worden overgebracht. In een robotic mobile fulfillment system (RMF) worden producten doorgaans opgeslagen op mobiele voorraadpods, elk met tientallen producten. Wanneer een product nodig is voor een klantbestelling, transporteert een robot de volledige voorraadpod, zoals te zien in figuur 11, naar een pickstation (Roy et al., 2019). Het systeem kan profiteren van het samen opslaan van vaak samen bestelde producten op hetzelfde rek of pod. Het geclusterd opslaan van producten komt ook voor in sommige andere systemen voor het ophalen van onderdelen naar de picker (Roy et al., 2019).



Figuur 11: Automated guided vehicle / autonomous mobile robot (Mirzaei et al., 2021)

2.5.3.2 Drones



Figuur 12: Intralogistiek (Wawrla et al., z.d.)

Binnen het parts-to-picker systeem worden intralogistieke drones ingezet om orderpickers te ondersteunen bij het verzamelen van kleinere items in een magazijn. Elk product in het magazijn is uniek geïdentificeerd via barcodes of RFID-tags. Zodra een order wordt ontvangen, analyseert het Warehouse Management System (WMS) de lijst met benodigde items en stuurt deze informatie naar de drones (Tubis et al., 2021).

Wanneer de drones de locatie van een specifiek onderdeel bereiken, maken ze gebruik van een grijpmechanisme om het product op te halen (Ham, 2020), zie figuur 15. De verzamelde onderdelen worden vervolgens naar een centrale ophaalzone gebracht waar de orderpicker zich bevindt. Deze

aanpak minimaliseert de afstanden die orderpickers moeten afleggen, vermindert de benodigde tijd om een bestelling af te ronden en optimaliseert de inzet van arbeidskrachten (Wawrla et al., z.d.).

2.5.3.3 Geautomatiseerde opslagsystemen



Figuur 13: AS/RS systeem ('ASRS System | AS/RS Automated Storage and Retrieval System Rack | Frazier', z.d.)

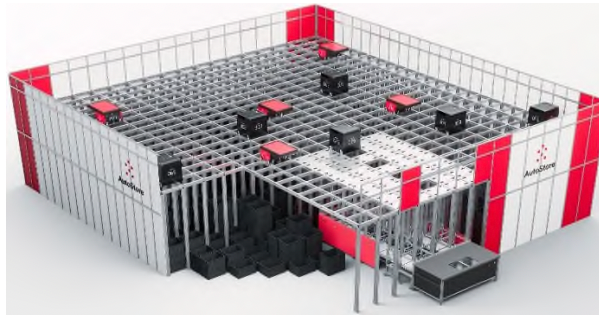
Een AS/RS-systeem, zoals te zien in figuur 13, wat staat voor "Automated Storage and Retrieval System" of geautomatiseerd opslag- en ophaalsysteem, is een magazijnsysteem dat gebruik maakt van geautomatiseerde technologieën om de opslag van producten en het ophalen van goederen te optimaliseren. Dit systeem is ontworpen om de efficiëntie te vergroten, de nauwkeurigheid te verbeteren en de ruimte in het magazijn optimaal te benutten (Manzini et al., 2006).

In een AS/RS-systeem worden goederen opgeslagen in geautomatiseerde opslagrekken of -systemen. Deze rekken zijn uitgerust met geautomatiseerde transportmiddelen zoals shuttles. Deze shuttles bewegen horizontaal en verticaal langs de opslagrekken om producten op te halen en af te leveren op de juiste locaties (Ekren et al., 2015). De rekken zijn ook uitgerust met liften of transportbanden, die worden aangestuurd door een centraal controlesysteem (de Koster et al., 2008). Door gebruik te maken van deze systemen kunnen werknemers op hun picklocaties blijven en worden de goederen via dit conveyorsysteem in bakken naar de picker getransporteerd, waar de werknemer de benodigde items uit de bakken kan halen (Ashrafian et al., 2019).

De geautomatiseerde transportmiddelen bewegen zich, na een signaal, naar de juiste locatie in het magazijn en halen het specifieke product op. Dit proces vermindert de noodzaak voor handmatige interventie, waardoor de kans op fouten en de ophaaltijd worden geminimaliseerd (Vijayakumar et al., 2021).

AS/RS-systemen maken optimaal gebruik van de verticale ruimte in een magazijn. Hierdoor kunnen bedrijven meer goederen opslaan op een beperkte vloeroppervlakte. Bovendien zorgen ze voor een gestroomlijnd orderpickingproces, waarbij goederen snel en nauwkeurig kunnen worden gelokaliseerd en opgehaald (Roy et al., 2019).

2.5.3.4 Autostore-systeem



Figuur 14: Autostore systeem (Troost et al., 2022)

Een automatisch opslagsysteem, ook wel een autostore-systeem genoemd, is een magazijnsysteem dat gebruik maakt van geautomatiseerde technologieën om goederen op te slaan, te verplaatsen en op te halen zonder menselijke tussenkomst (Troost et al., 2022). In figuur 14 is een autostore-systeem te zien. Dit systeem slaat goederen op in plastic bakken, ook wel bins genoemd, die via robots van bovenaf worden verplaatst en omgestapeld (Troost et al., 2022). Dit opslagsysteem is gebaseerd op kubussen, waardoor productbakken compact en in een rasterstijl gestapeld kunnen worden (Torchio, 2023). Figuur 14 illustreert hoe robots zich boven op de rekken, over de grid, manoeuvreren om de bakken op te slaan en te verzamelen bij de poorten.

Binnen het systeem zijn er speciale bins waarin goederen worden opgeslagen. Deze bins worden op elkaar geplaatst in een gridstructuur met meerdere niveaus, zoals te zien in figuur 17. Alle bins hebben een uniek nummer dat de tray identificeert en wordt opgeslagen in een database, waardoor de bin herkenbaar is. Robots, die zich over het grid bewegen, worden gebruikt voor het ophalen en verplaatsen van de bins. Wanneer bepaalde goederen nodig zijn, wordt dit door het magazijnbeheersysteem geïdentificeerd. Het systeem berekent vervolgens de meest efficiënte route voor de robot om naar de locatie van de benodigde tray te navigeren (Djupešland, 2023).

De robot haalt de tray op en brengt deze naar een ophaalpunt aan de rand van het grid, waar een medewerker de benodigde goederen ophaalt. Na het ophalen worden de overgebleven bins opnieuw gerangschikt om de ruimte in het grid te optimaliseren voor toekomstige opslagbehoeften. Dit proces van automatisch ophalen, verplaatsen en opnieuw rangschikken van bins maakt het mogelijk om een efficiënt magazijnbeheer te realiseren, met een hoge opslagcapaciteit en een snelle orderverwerking (Meller, z.d.).

Er hangen zowel voordelen als nadelen aan dit systeem. Het voordeel van dit systeem is de compactheid, waardoor optimalisatie van de beschikbare ruimte mogelijk is (Torchio, 2023). Dit systeem is zeer efficiënt doordat er geen menselijke handelingen nodig zijn bij het sorteren en ophalen van de producten. Hierdoor kan het personeel worden ingezet op plaatsen waar menselijke handelingen wel nodig zijn, zoals bij het pickstation. Wanneer de autostore de producten heeft opgehaald, worden deze naar het juiste pickstation gebracht, waar een werknemer staat te wachten om de producten verder te picken (Håvås, z.d.).

Het autostore-systeem kent enkele beperkingen en is niet geschikt voor elk gebouw. Een autostore past optimaal in een magazijn met een plafondhoogte van minimaal 10-12 meter. Dit komt doordat deze constructie in de hoogte werkt, aangezien alle bins gestapeld moeten worden. Hierdoor moet de constructie genoeg ruimte hebben om de hoogte in te gaan en ruimte bieden voor onderhoud of herstellingen (Håvås, z.d.). Er is ook een beperking aan het gewicht van de producten in de bakken. De bakken kunnen maximaal 30 kilogram dragen. Producten die dit gewicht overschrijden, moeten buiten de AS/RS worden geplaatst (Håvås, z.d.).

Tenslotte is er een tijdsbeperking, aangezien de robots tijd nodig hebben om bakken te grijpen en naar de poort te verplaatsen. Als de benodigde producten zich onderaan in de autostore bevinden, moeten de robots eerst 'graven' naar die onderste bakken. Dit betekent dat eerst alle bakken die erboven liggen, moeten worden verplaatst, wat extra tijd kost (Demidova, 2021).

2.6 Voordelen automatisatie in magazijnen

In een tijdperk waarin technologische vooruitgang de norm is, evolueert ook de logistieke sector steeds meer door deze technologieën. Het is daarom belangrijk dat bedrijven inspelen op de nieuwe trends om hun concurrentievermogen te behouden. De voordelen van geautomatiseerde magazijnen gaan veel verder dan enkel de verbetering van de efficiëntie. In dit deel wordt dieper ingegaan op de voordelen van magazijnautomatisatie en hoe deze technologische vooruitgang de logistieke processen transformeert.

2.6.1 Verbetering van kostenefficiëntie en controleerbaarheid

Verbetering van kostenefficiëntie en controleerbaarheid van activiteiten is een belangrijk doel voor veel bedrijven. Automatisering biedt hiervoor een uitstekend middel. Door automatisering kunnen bedrijven hun operationele processen optimaliseren, wat leidt tot aanzienlijke kostenbesparingen en een betere controle over de activiteiten. Dit stelt bedrijven in staat om productie- en logistieke volumes te verhogen en tegelijkertijd kleinere batchgroottes te hanteren, zonder dat dit ten koste gaat van de winstgevendheid (Custodio & Machado, 2020).

Automatisering resulteert ook in verbeterde beheersbaarheid van bedrijfsprocessen, wat uiteindelijk prijsdifferentiatie mogelijk maakt. Dit betekent dat geautomatiseerde systemen bedrijven de tools bieden om hun processen nauwkeurig te volgen en efficiënt te beheren. Door deze verhoogde controle kunnen bedrijven beter inspelen op variërende marktvraag en specifieke klantbehoeften. Met verbeterde beheersbaarheid kunnen bedrijven bijvoorbeeld sneller en nauwkeuriger reageren op fluctuaties in de vraag. Ze kunnen voorraadniveaus optimaliseren, productieschema's aanpassen en logistieke operaties afstemmen op de actuele marktsituatie. Dit leidt tot een efficiënter gebruik van middelen en een vermindering van verspilling, wat uiteindelijk kostenbesparingen oplevert (Roth & Sims, 1991).

2.6.2 Vervanging van handmatig werk

Een belangrijke ontwikkeling binnen magazijnoperaties is de vervanging van handmatig werk door automatisering. Voorbeelden hiervan zijn magazijnrekken die nu worden gevuld en geleegd door

rekkenliften/kranen in plaats van heftrucks en het automatische transport van goederen met behulp van transportbanden. Ook het verzamelen en verwerken van informatie wordt steeds vaker geautomatiseerd. Hierdoor transformeren de rollen en functies van werknemers, die nu meer betrokken zijn bij de controle en aansturing van geautomatiseerde systemen (Schwarzbach, 1985).

2.6.3 Verhoogde intelligentie en efficiëntie

Geautomatiseerde opslag binnen magazijnen speelt een belangrijke rol in het verhogen van de intelligentie van magazijnsystemen. Deze technologie maakt een efficiënte samenwerking tussen producten en opslaglocaties mogelijk. Dit gebeurt doordat geautomatiseerde systemen nauwkeurig kunnen volgen waar elk product zich bevindt en wat de status ervan is, bijvoorbeeld aan de hand van codes op de producten die de robots scannen. Hierdoor worden het beheer van voorraden en de toewijzing van opslagruimte sterk verbeterd. De continue stroom van informatie tussen de verschillende onderdelen van het magazijn zorgt ervoor dat producten sneller en nauwkeuriger kunnen worden opgepikt en verplaatst, wat leidt tot een hogere operationele efficiëntie (Richards, 2017).

2.6.4 Realtime data en voorspellingsmodellen

De realtime verzamelde gegevens door geautomatiseerde opslagsystemen, in combinatie met geavanceerde voorspellingsmodellen, bieden bedrijven een krachtig instrument om nauwkeurige vraagvoorspellingen te doen. Dit stelt hen in staat om proactief te reageren op marktveranderingen en het voorraad- en productiebeheer te optimaliseren. Hierdoor kunnen bedrijven niet alleen efficiënter opereren, maar ook hun concurrentiepositie versterken en beter aan de behoeften van hun klanten voldoen (Mumba, 2020).

2.6.5 Verbeterde klantenservice en concurrentievoordeel

De omvangrijke digitale gegevensstromen die voortkomen uit geautomatiseerde opslagapparaten dragen aanzienlijk bij aan het verbeteren van de klantenservice. Geautomatiseerde systemen verzamelen continu gegevens over voorraadniveaus, orderstatussen, verzendtijden en klantvoorkeuren. Deze gegevens kunnen in realtime worden geanalyseerd, wat bedrijven in staat stelt om sneller en nauwkeuriger te reageren op klantbehoeften. Hierdoor ontstaan ook meer mogelijkheden voor het versterken van concurrentievoordeel door het bevorderen van klantrelaties via realtime communicatie (Ives et al., 2016).

2.7 Nadelen automatisatie in magazijnen

Bij het inzetten van nieuwe technologieën krijgt het bedrijf te maken met een heleboel moeilijkheden. Het is daarom belangrijk voor bedrijven die automatisatie binnen hun magazijnen overwegen, grondig onderzoek te doen naar de moeilijkheden rondom dit onderwerp. De moeilijkheden die bij de implementatie van automatisatie ontstaan, kunnen onderverdeeld worden in twee categorieën: materiële en immateriële moeilijkheden (Varghese & Saju, 2021). De immateriële moeilijkheden omvatten directe factoren die over het algemeen niet kwantificeerbaar zijn, zoals mensen, sociale en strategische kwesties. Terwijl materiële moeilijkheden wel kwantificeerbaar zijn en verbonden zijn aan kostenvoordelen (Sambasivarao & Deshmukh, 1995).

2.7.1 Hoge investeringskosten

De nadelen van geautomatiseerde opslagsystemen doen zich voornamelijk voor binnen kosten gerelateerde kwesties. Deze problemen ontstaan vaak door onrealistische verwachtingen en de complexiteit van het in kaart brengen van diverse kosteninvloeden (Dadzie & Johnston, 1991).

Veel bedrijven zien af van het invoeren van geautomatiseerde systemen vanwege de hoge initiële kosten. Dit omvat bijvoorbeeld de aanschaf van geavanceerde apparatuur, robotica, geautomatiseerde transportsystemen en software. Voor sommige bedrijven kan deze initiële kapitaalinvestering een aanzienlijke financiële last vormen. Het toepassen en onderhouden van dergelijke systemen vereist ook nieuwe vaardigheden en expertise. Omdat werknemers hiervoor niet opgeleid zijn, zal het bedrijf moeten investeren in opleidingen voor de potentiële of bestaande werknemers om deze vaardigheden te verkrijgen (Kamali, 2019).

2.7.2 Mindset van het management

Het succes van innovatieve projecten is sterk afhankelijk van diverse organisatorische aspecten, waaronder de structuur van de organisatie en de houding van het topmanagement. Vooral de instelling van het topmanagement ten opzichte van dergelijke projecten is van doorslaggevend belang voor hun succes. Zelfs de perceptie van onvoldoende steun kan even schadelijk zijn voor de uitvoering van een project als het daadwerkelijke gebrek aan steun. Bovendien dient het topmanagement bereid te zijn om korte termijn risico's te aanvaarden voor de realisatie van langetermijnvoordelen. De steun van het topmanagement moet duidelijk zichtbaar zijn in het waarborgen van de integriteit van het team, het bevorderen van top-down planning en het toewijzen van de benodigde middelen (Co et al., 1998).

2.7.3 Technologische beperkingen

Een nadeel dat zich kan voordoen in geautomatiseerde systemen is de potentiële uitdaging die ontstaat wanneer het centrale systeem uitvalt en geen verdere besturing meer mogelijk is. Deze situatie kan leiden tot aanzienlijke verstoringen in de operationele activiteiten, wat mogelijk resulteert in productieverlies, vertragingen in de levering van goederen en zelfs financiële verliezen voor het bedrijf. Het tijdelijk niet meer in staat zijn om het systeem te bedienen en te monitoren kan ook leiden tot een gebrek aan realtime inzicht in de status van de processen, waardoor het moeilijker wordt om snel en effectief te reageren op eventuele problemen of noodsituaties (Najib & Ishak, 2021).

Een cruciale overweging bij de implementatie van robots in magazijnen is de behoefte aan voldoende ruimte voor de voortbeweging van deze machines. Het is essentieel dat bedrijven de beschikbare ruimte evalueren en afstemmen op de grootte en mobiliteitsvereisten van de robots voordat ze overgaan tot implementatie. Het vereiste vloeroppervlak hangt af van verschillende factoren, waaronder de grootte van de robots, hun bewegingsbereik en de indeling van het magazijn. Bovendien moeten bedrijven rekening houden met de vereisten voor manoeuvreerruimte, zowel voor de robots zelf als voor eventuele menselijke operators die in het magazijn werken (Najib & Ishak, 2021).

2.7.4 Onzekerheid bij werknemers

Binnen magazijnautomatisering kan het introduceren van nieuwe technologieën tot zorgen leiden bij werknemers over de mogelijke impact op hun baan. Wanneer machines en geautomatiseerde systemen taken overnemen die voorheen door mensen werden uitgevoerd, kan dit leiden tot angst voor vervanging of verlies van werk. Werknemers kunnen zich bedreigd voelen door de mogelijkheid dat hun vaardigheden en expertise minder relevant worden in een geautomatiseerde omgeving (Lim et al., 2013).

De implementatie van automatisering zal hoogstwaarschijnlijk een impact hebben op de taken van het werkvloerpersoneel in het magazijn. Aspecten zoals functietaken, de fysieke lay-out van het magazijn, communicatiemethoden en de hoeveelheid informatie die verwerkt moet worden, kunnen allemaal veranderen als gevolg van automatisering. Bij het onderzoeken van de menselijke factor wordt daarom gekeken naar verschillende aspecten, zoals individuele vaardigheden, expertise, achtergrond, motivatie, zwaktes en de relaties met andere collega's. De betrokken personen kunnen operators, supervisors, monteurs of omstanders zijn (Scholtz, 2003).

2.8 Huidige stand van zaken

Door de groeiende druk op kortere doorlooptijden, voortdurende veranderingen in de vraag van klanten en een breder scala aan producten, is de druk op en het belang van magazijnactiviteiten toegenomen. Dit omvat onder andere het vermogen om meerdere artikelen op te slaan en een breed scala aan klantorders te verzamelen en samen te stellen (Kembro et al., 2017). Magazijnactiviteiten vormen ongeveer een kwart van de totale kosten van logistiek in de toeleveringsketen. Bedrijven streven daarom voortdurend naar kostenbesparingen en verbetering van de efficiëntie in hun magazijnactiviteiten, bijvoorbeeld door het verminderen van voorraad en het verhogen van de omloopsnelheid van goederen (De Koster et al., 2007).

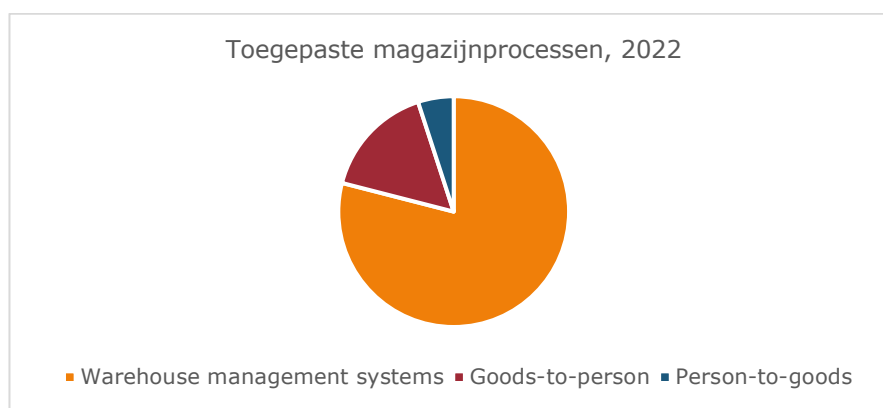
Efficiënte operaties in distributiecentra zijn essentieel voor het handhaven van hoogwaardige klantenservice, aangezien magazijnen vaak fungeren als het laatste knooppunt in de toeleveringsketen. Hier worden orders opgeslagen en samengesteld, diensten toegevoegd en producten verzonden naar de klant. Automatisering is steeds gebruikelijker in grote magazijnen, vooral wat betreft transportbanden, sorteerprocessen en geautomatiseerde opslag- en zoeksystemen. Deze systemen zijn aanwezig in meer dan een derde van de grote magazijnen, wat benadrukt hoezeer automatisering een gevestigde praktijk is geworden in de logistieke sector (Baker & Halim, 2007).

De toekomst van logistiek is gedigitaliseerd, verbonden en autonoom. Met de opkomst van cloud computing in supply chain management en het huidige gebruik van smartphones door consumenten, staat het evenwicht tussen vraag en aanbod voortdurend onder druk. Bedrijven moeten nu in staat zijn om veel sneller actie te ondernemen dan voorheen (D'Andrea, 2021).

2.8.1 Technologische vooruitgangen

Een significante technologische vooruitgang in magazijnbeheer is de integratie van radiofrequentie-identificatie (RFID) en barcodesystemen. Deze geavanceerde systemen worden veelvuldig toegepast voor de automatische identificatie van producten en opslaglocaties in magazijnen, wat resulteert in aanzienlijk verkorte verwerkingstijden en kostenbesparingen (Poon et al., 2009).

Door het gebruik van RFID en barcodes kunnen magazijnmedewerkers snel en nauwkeurig producten lokaliseren en volgen, waardoor fouten worden geminimaliseerd en de efficiëntie van het gehele logistieke proces wordt verhoogd. Deze technologieën bieden een geautomatiseerde en gestroomlijnde aanpak voor het beheren van voorraad, het bijhouden van zendingen en het optimaliseren van magazijnoperaties, wat op zijn beurt de operationele kosten verlaagt (Poon et al., 2009).



Figuur 15: Implementatie binnen magazijnprocessen (Drissi Elbouzidi et al., 2023)

Uit een onderzoek uit 2022 (Michel, 2022) blijkt dat 79% van de grote magazijnen gebruik maakt van een magazijnbeheersysteem (warehouse management system), 16% een "parts-to-picker" opslagoplossing heeft geïmplementeerd en 5% de methode "picker-to-parts" gebruikt. Desondanks blijven de gegevens in veel magazijnen grotendeels ongeordend en onbenut. Hoewel bedrijven wereldwijd gegevens verzamelen met behulp van magazijnbeheersystemen, worden deze vaak inefficiënt gebruikt, waardoor waardevolle data onbeheerd, onbehandeld en ongebruikt blijven (Drissi Elbouzidi et al., 2023).

De technologieën van AI en digital twins (DT's) zijn sterk afhankelijk van data. In de afgelopen jaren zijn magazijnen en toeleveringsketens belangrijke bronnen van gegevens geworden. De introductie van AI-ondersteunde DT's biedt een oplossing voor het probleem van ongeorganiseerde data. Door gegevens te structureren en als een enkele bron van waarheid en informatie te gebruiken, kunnen DT's wereldwijd toezicht houden op magazijnactiviteiten. Dit maakt geïnformeerde besluitvorming mogelijk op basis van datagestuurde inzichten. De implementatie van DT-technologie kan bedrijven helpen om hun magazijngegevens, die vaak chaotisch en ongeorganiseerd zijn, om te zetten in waardevolle informatie (Drissi Elbouzidi et al., 2023).

Het systeem van de "digital twin" (DT) wordt veel gebruikt in magazijnen. Het concept van een "digital twin" in een magazijncontext verwijst naar een virtuele weergave van het magazijn en al zijn

activiteiten, processen en voorraden. Een digital twin van een magazijn wordt voornamelijk gebruikt voor het monitoren, beheren en optimaliseren van de magazijnactiviteiten op een digitaal platform (Tao et al., 2022). Deze DT haalt gegevens op uit het werkelijke industriële proces, bootst het gedrag na en geeft specifieke invoer terug aan het werkelijke proces, nadat deze is verwerkt door een op simulatie gebaseerd digitaal model. Dit werk presenteert een voorstel voor een DT voor een echt wereldsysteem, waardoor bedrijven betere voorspellingen kunnen doen. De modellen van digital twins zijn nog volop in ontwikkeling, en verdere ontwikkelingen zullen zich richten op het versterken van zowel de bestaande fysieke als IT-infrastructuur. Daarnaast zal er ook gewerkt worden aan de ontwikkeling van een communicatieprotocol tussen de systemen en de digital twin (Ferrari et al., 2022).

Daarbij bieden AI-gebaseerde besluitvormingsmethoden een oplossing om de functies van digital twins te verbeteren door het vermogen om verzamelde gegevens autonoom te analyseren en te interpreteren (Drissi Elbouzidi et al., 2023). Met AI-algoritmen kunnen patronen in de gegevens worden geïdentificeerd, wat kan helpen bij het voorspellen van toekomstige waarden van variabelen, vooral wanneer deze variabelen complex zijn of moeilijk te berekenen. AI wordt al veelvuldig toegepast in de logistieke sector voor doeleinden zoals voorraadoptimalisatie en productieplanning (Younis et al., 2021).

Door geavanceerde data-analyse toe te passen, kunnen digitale tweelingen worden getransformeerd van eenvoudige gegevensopslagplaatsen naar waardevolle bronnen van kennis. Dit leidt tot geoptimaliseerd magazijnbeheer, waarbij de opgeslagen gegevens effectief worden benut om processen te verbeteren en strategische beslissingen te ondersteunen (Ferrari et al., 2022).

2.8.2 Geautomatiseerde opslag

Tegenwoordig maken veel magazijnen wereldwijd gebruik van automated storage and retrieval systems (AS/RS) vanwege hun aanzienlijke voordelen ten opzichte van traditionele opslagsystemen (Ferrari et al., 2022). AS/RS zijn geautomatiseerde systemen die het opslaan en ophalen van goederen mogelijk maken zonder menselijke tussenkomst. De belangrijkste redenen waarom magazijnen AS/RS gebruiken, zijn onder andere de mogelijkheid om de beschikbare ruimte optimaal te benutten, lagere arbeidskosten, snellere ophaaltijden en verbeterd voorraadbeheer. Deze voordelen dragen bij aan een efficiëntere en effectievere werking van magazijnen, waardoor ze een belangrijk onderdeel zijn geworden van de hedendaagse logistieke industrie (Ferrari et al., 2022).

2.8.3 Het verplaatsen van goederen

Er zijn drie hoofdgroepen van robots die momenteel worden gebruikt in magazijnen voor het verplaatsen van goederen: geautomatiseerde geleide voertuigen (AGV's), autonome mobiele robots (AMR's) en geautomatiseerde magazijnheftrucks. Met nieuwe ontwikkelingen in navigatietechnologie en functionaliteit, beginnen bedrijven robots in magazijnen te gebruiken voor diverse operaties, waaronder laden, verplaatsen, lossen, verpakken, depalletiseren, sorteren en inventarisatie.

Een van de belangrijkste redenen waarom transportbanden onmisbaar zijn geworden, is hun vermogen om grote volumes goederen snel en zonder onderbreking te verplaatsen. Handmatig verplaatsen van goederen is tijdrovend en arbeidsintensief, terwijl transportbanden een continue stroom van goederen mogelijk maken, waardoor de doorvoersnelheid wordt verhoogd en de totale verwerkingstijd van orders wordt verkort. Daarbij wordt ook de fysiek belastende taak van het verplaatsen van zware dozen overgenomen door de transportbanden. Dit resulteert niet alleen in een verminderd risico op letsel bij werknemers, maar ook in een verhoogd comfort en welzijn van de werknemers op de werkvloer (Swartz, 1998).

Hoofdstuk 3 Kwalitatief onderzoek

In deze empirische studie zullen de resultaten uit de literatuurstudie vergeleken worden met de praktijk. Dit zal gebeuren op basis van een kwalitatief interviewonderzoek. Daarvoor werden vier diepgaande interviews afgenomen met leidinggevendenden die actief zijn in het beheer van magazijnprocessen. De duurtijd van de interviews lag tussen de 20 en 30 minuten.

3.1 Bedrijfservaringen automatisering magazijnprocessen

3.1.1 Interview 1: Livlina

3.1.1.1 Inleiding: optimalisatie van logistieke processen in de farmaceutische sector

Livlina is een logistiek bedrijf dat zich richt op het optimaliseren van magazijnactiviteiten en distributieprocessen binnen de farmaceutische sector. Bij Livlina streven ze ernaar om hun klanten hoogwaardige logistieke oplossingen te bieden, met een focus op efficiëntie, nauwkeurigheid en klanttevredenheid. De klanten van Livlina bestaan voornamelijk uit bedrijven actief in de farmaceutische industrie, zoals fabrikanten van geneesmiddelen, distributeurs van medische apparatuur en farmaceutische groothandels. Deze klanten vertrouwen op Livlina om hun logistieke processen te optimaliseren, wat inhoudt dat Livlina zorgt voor een efficiënte en nauwkeurige opslag, picking, en distributie van de farmaceutische producten van hun klanten.

In 2021 opende Livlina een volledig geautomatiseerd magazijn in Tessenderlo, waar geavanceerde technologieën worden ingezet om operationele processen te verbeteren en te voldoen aan de veranderende marktvraag. De focus ligt op automatisering van verschillende processen, zoals picking, depalletisatie en highbay-opslag, met als doel de efficiëntie voortdurend te verhogen. Echter worden de producten die niet passen binnen de geautomatiseerde systemen, door bijvoorbeeld niet te voldoen aan de afmetingen die nodig zijn binnen bepaalde processen, wel nog handmatig gepickt en verwerkt. Dit proces gebeurt wel met de nodige technologie zoals pick-by-voice.

3.1.1.2 De werking van het magazijn:

In het magazijn van Livlina, waar inbound processen nog steeds handmatig worden uitgevoerd vanwege de aard van farmaceutische producten die nauwkeurige controle vereisen, wordt een zorgvuldig gecoördineerde aanpak toegepast om de efficiëntie en veiligheid te waarborgen.

Wanneer de producten aankomen op pallets, worden ze op de loopband geplaatst en vervolgens getransporteerd naar de highbay voor bulkopslag. Hier worden de producten opgeslagen op meerdere niveaus, wat mogelijk is dankzij geautomatiseerde systemen. Het highbay-systeem biedt aanzienlijke voordelen, vooral omdat er geen personeel aanwezig is op deze hoogtes, wat de veiligheid verhoogt. Door gebruik te maken van automatisering kunnen veel meer niveaus worden bereikt dan wanneer het magazijn uitsluitend handmatig zou worden bediend.

Na opslag in de highbay worden de producten verder getransporteerd naar de depal robot. Deze robot is verantwoordelijk voor het efficiënt en nauwkeurig verwijderen van de verpakkingen van de pallets en deze te plaatsen in bakken. Deze stap is van cruciaal belang omdat het de producten gereed maakt voor verdere verwerking en opslag in het magazijn. De automatisering van dit proces

biedt aanzienlijke voordelen, waaronder een hogere snelheid, een lagere foutenlast en een verminderde behoefte aan menselijke arbeid.

Vanuit de bakken worden de producten vervolgens verplaatst naar het order storage and retrieval system (OSR) voor verdere opslag. Het OSR is een geautomatiseerd systeem, parts-to-picker, dat de producten efficiënt opslaat en ophaalt met behulp van shuttle robots, wat resulteert in een snelle en nauwkeurige orderafhandeling.

3.1.1.3 Geautomatiseerde Systemen

Livlina heeft geïnvesteerd in geautomatiseerde systemen voor verschillende processen in hun magazijn, zoals depalletisatie en highbay-opslag en het OSR (order storage and retrieval system) voor opslag en orderpicking. Hoewel sommige processen, zoals palletten stapelen, momenteel nog niet volledig geautomatiseerd zijn vanwege de hoge kosten, heeft de automatisering geleid tot aanzienlijke voordelen in termen van efficiëntie en nauwkeurigheid.

OSR-systeem (shuttlesysteem)

Livlina heeft ervoor gekozen om OSR, order storage and retrieval system, toe te passen voor het opslaan van hun producten binnen het magazijn. Dit systeem werkt aan de hand van een AS/RS systeem en met shuttlesystemen en gangen tussen elke rij, hierbij worden de producten dus naar een picker of pickrobot getransporteerd, dit is een parts-to-picker systeem.



Figuur 16: OSR-systeem ('Opslag', z.d.)

Wanneer Livlina een order binnen krijgt dan krijgt het systeem een signaal om de benodigde producten uit de locaties te halen. Binnen het OSR worden de producten uit de rekken gehaald aan de hand van de shuttle robots, zoals te zien op figuur 15, die zich door de gangen verplaatsen naar de juiste locatie. Vervolgens brengt de robot het product naar de picklocatie waar een orderpicker staat te wachten of naar de pickrobot die het pickproces automatisch verder zal voltooien.

Highbay

Daarbij heeft dit bedrijf ook een highbay, ook wel bekend als een hoogbouwmagazijn, geïmplementeerd. Dit is een opslagsysteem dat specifiek is ontworpen om de verticale ruimte in een magazijn optimaal te benutten, zie figuur 16. De highbay's focus ligt op het efficiënt opslaan van producten op meerdere niveaus, tot wel 18 rijen hoog, door gebruik te maken van geautomatiseerde

systemen zoals kranen of robots. In plaats van alleen op de begane grond op te slaan, maakt een highbay dus gebruik van de volledige hoogte van het magazijn. Dit is heel voordelig doordat de ruimte optimaal gebruikt wordt.



Figuur 17: Highbay-systeem (Hoogbouwstellingen - Hoogbouw Palletrekken | Stow, z.d.)

Pickrobots

Een pickrobot is een geautomatiseerd systeem dat alle gewenste producten kan picken. Wanneer de producten uit de OSR komen, zullen deze via de conveyor verder vervoerd worden tot aankomen bij de handmatige picker of bij de pickrobot. Deze robot, zoals te zien op figuur 17, zal de producten uit de plastic dozen halen en controleren en vervolgens scannen en plaatsen in een kartonnen doos om deze klaar te maken voor verzending. Wanneer de robot klaar is met het picken dan wordt de kartonnen doos met de gewenste producten weer verder geduwd naar de volgende stap binnen de magazijnprocessen.



Figuur 18: Pickrobot (Pickrobot - Mecalux.be, z.d.)

Depalrobots

Op figuur 18 is een depalletisatie-robot te zien, dit is een geautomatiseerd systeem dat is ontworpen om producten van pallets te halen. Deze robots zijn perfect voor magazijnen waar grote hoeveelheden aan goederen binnenkomen op palletten, zoals bij Livlina. Wanneer de palletten aankomen bij de robot dan zal deze te werk gaan door de dozen aan de hand van zuignappen vast te zuigen en te verplaatsen in de gewenste doos of andere locatie. Wanneer de producten in een plastic doos geplaatst worden, kunnen deze verder geduwd worden over de conveyor naar het OSR en hier kunnen de goederen dan verder opgeslagen worden.



Figuur 19: Depalrobot (OSARO Debuts AI-Powered Robotics for Mixed-Case Depalletization - OSARO, z.d.)

3.1.1.4 Impact van Automatisering: Voordelen

De geautomatiseerde systemen hebben verschillende voordelen opgeleverd voor Livlina, waaronder verbeterde efficiëntie, nauwkeurigheid en veiligheid. Daarbij heeft de automatisering geleid tot kostenbesparingen, voornamelijk door een vermindering van het aantal benodigde werknemers waardoor er natuurlijk een aanzienlijke daling van de personeelskosten gerealiseerd kan worden. In dit nieuwe magazijn zijn er namelijk maar 60 werknemers tewerkgesteld terwijl er in hun ander magazijn in Sint-Niklaas (dit magazijn is niet geautomatiseerd) 130 mensen tewerkgesteld zijn. Dit is een grote kostenbesparing voor Livlina aangezien het magazijn in Tessenderlo ook nog eens groter is dan Sint-Niklaas (zie figuur 19) en daarbij is er ook minder personeel nodig door de automatisatie. Ook is er een aanzienlijke vermindering van fouten in het orderverwerkingsproces. Momenteel moet Tessenderlo nog een aantal klanten verwerven om het magazijn volledig gevuld te krijgen, dus de volumes in Sint-Niklaas zijn op dit moment groter dan in Tessenderlo. Dit moet in de toekomst wel nog veranderen wanneer alle plaatsen gevuld kunnen worden in Tessenderlo, zouden hier de volumes groter zijn dan in Sint-Niklaas.



Figuur 20: Magazijn Sint-Niklaas en Tessenderlo LIVLINA, (Livlina, z.d.)

Pickrobot en depalrobot:

Naarmate robots worden geïmplementeerd voor picking en depalletisatie, zijn er minder werknemers nodig voor deze taken. Dit heeft niet alleen de efficiëntie verbeterd, maar ook de veiligheid verhoogd door menselijke interactie met zware lasten te verminderen.

Hoewel geautomatiseerde systemen hebben geleid tot een vermindering van het aantal werknemers dat nodig is voor bepaalde taken, benadrukt Livlina de noodzaak om werknemers te heroriënteren naar meer gespecialiseerde taken die de automatisering ondersteunen zoals de folies verwijderen voordat de depal robot te werk kan gaan. Dit kan leiden tot een meer betrokken en gemotiveerd personeelsbestand, dat zich kan richten op taken met een hogere toegevoegde waarde.

De zogenaamde 'full cases', dit zijn de producten die in een grotere verpakking kunnen blijven zitten en dus niet apart gepickt moeten worden, worden binnen Livlina gepickt door een pickrobot, deze robot verwerkt tot wel 400 full cases per uur. Orderpickers die de producten aan hun pickstation binnen krijgen werken met een computer die aangeeft welke producten in een doos geplaatst moeten worden met de juiste hoeveelheden. Een orderpicker die dit handmatig moet doen, kan tot 170-180 orderlijnen afwerken. Een robot is dus ongeveer dubbel zo snel hierin.

OSR-systeem voordelen:

Efficiëntieverbetering

Een OSR-systeem automatiseert zowel de opslag als het ophalen van goederen, waardoor deze processen aanzienlijk sneller en nauwkeuriger verlopen. Dit leidt tot een toename in productiviteit, omdat medewerkers minder tijd hoeven te besteden aan het handmatig zoeken en verplaatsen van items. Hierdoor kunnen taken efficiënter worden uitgevoerd en wordt de algehele operationele efficiëntie van het magazijn verbeterd.

Ophaalsnelheid

Een belangrijk voordeel van een OSR-systeem is dat dit systeem gebruik maakt van shuttlesystemen. Deze shuttles verplaatsen zich tussen de gangen naar de specifieke locatie van een product, zonder dat ze hoeven te graven zoals bij een AutoStore-systeem. In een AutoStore-systeem moeten de robots namelijk eerst bovenliggende bakken verplaatsen om toegang te krijgen tot de gewenste producten, wat tijd kost. Hierdoor is een OSR-systeem doorgaans sneller, omdat de shuttles direct naar de locatie van de producten kunnen gaan zonder extra handelingen.

Highbay voordelen:

Verhoogde veiligheid

Automatisering in magazijnen vermindert de noodzaak voor werknemers om fysiek werk te verrichten in potentieel gevaarlijke omgevingen. Traditioneel magazijnwerk kan gevaarlijk zijn vanwege de noodzaak om zware goederen te tillen, hoge rekken te reiken, en zich te verplaatsen tussen smalle gangpaden waar heftrucks en andere machines opereren. Deze omstandigheden verhogen het risico op ongevallen zoals aanrijdingen en het tillen van zware lasten. Door een highbay te implementeren ontstaat een veel veiliger werkomgeving voor werknemers, wat bijdraagt aan hun welzijn en tevredenheid, en uiteindelijk resulteert in lagere kosten voor arbeidsongevallen.

Optimale ruimte benutting

Highbay-systemen zijn ontworpen om optimaal gebruik te maken van de verticale ruimte in een magazijn, waardoor bedrijven hun opslagcapaciteit aanzienlijk kunnen vergroten zonder de noodzaak van extra vloeroppervlakte. Dit is heel voordelig op plaatsen waar de ruimte schaars en duur is en elke vierkante meter optimaal benut moet worden.

In traditionele magazijnen wordt vaak slechts een beperkte hoeveelheid van de beschikbare hoogte benut, waardoor een aanzienlijk deel van de ruimte onbenut blijft. Highbay-systemen daarentegen

maken gebruik van hoge stellingen en geautomatiseerde kranen of shuttles die goederen kunnen opslaan en ophalen tot op grote hoogten, tot 18 etages hoog (ongeveer 40 meter). Hierdoor kan een veel groter volume aan goederen worden opgeslagen op hetzelfde grondoppervlak.

3.1.1.5 Impact van Automatisering: Uitdagingen

De automatisering heeft aanzienlijke voordelen opgeleverd, waaronder verbeterde efficiëntie, nauwkeurigheid en kostenbesparingen voor Livlina. Dit gaat echter ook gepaard met uitdagingen zoals robotuitval en inflexibiliteit in sommige geautomatiseerde processen. Desondanks blijft Livlina zich inzetten voor het verkennen van nieuwe technologieën en het optimaliseren van automatiseringsprocessen om hun concurrentievoordeel te behouden en voortdurend te innoveren in de sector.

Manueel gedeelte:

Onderschatting van handmatig werk

Hoewel het magazijn van Livlina in Tessenderlo in eerste instantie werd ontworpen met een sterke focus op automatisatie, werd het bedrijf geconfronteerd met enkele tegenvallers. Een opvallende uitdaging die naar voor is gekomen voor Livlina, doet zich voor in het gedeelte van het magazijn waar geen automatisering wordt toegepast. Hier werd vastgesteld dat deze ruimte opvallend vol is, veel producten moeten dus nog manueel worden verwerkt. Hier worden producten handmatig opgeslagen en gepickt met behulp van heftrucks en het pick-by-voice systeem, dit is dus de picker-to-parts methode.

Deze situatie is ontstaan omdat sommige producten binnen het assortiment van Livlina niet geschikt zijn voor volledige automatisatie. Dit kan te wijten zijn aan verschillende factoren zoals de afmetingen, verpakkingen of stevigheid van de producten. Voor Livlina was dit een grote tegenvaller, er werd een manueel gedeelte voorzien maar het was niet voorzien bij de initiële planning van het geautomatiseerde magazijn dat dit deel nog zo vol zou zijn.

Als gevolg hiervan worden deze producten nu handmatig behandeld, dit is niet alleen arbeidsintensiever, maar dit kan ook leiden tot inefficiënties en grotere foutenlasten in vergelijking met geautomatiseerde processen. Het bedrijf staat voor de uitdaging om deze beperkingen te overwinnen en manieren te vinden om meer producten binnen hun assortiment geschikt te maken voor automatisatie in de toekomst voor bijvoorbeeld meer gestandaardiseerde verpakkingen.

Robots:

Beperkingen

De robots die worden ingezet in het magazijn, de depal robot en de pickrobot, hebben enkele beperkingen die van invloed zijn op hun functionaliteit en prestaties. Een van deze beperkingen is bijvoorbeeld het maximale gewicht dat de robot kan hanteren. Voor sommige producten geldt dat hoewel ze qua afmetingen wel in aanmerking komen om door de robot te worden gepickt, het gewicht van deze producten niet hoger mag zijn dan 25 kg. Dit komt omdat producten die zwaarder zijn dan deze limiet, het risico lopen om tijdens het pickproces los te komen.

Ook de uitval van de robots en inflexibiliteit wordt als een nadeel gezien binnen Livlina. Een robot kan bijvoorbeeld ook niet volledig autonoom werken omdat er bij sommige plaatsen nog een kleine tussenkomst van werknemers nodig is, denk hierbij aan de conveyors die vol komen te staan met gepickte producten door de robot. Werknemers moeten deze producten verder plaatsen tot de juiste locatie dus de robot kan niet autonoom blijven doorwerken.

OSR-systeem:

Beperking in afmetingen

Hoewel het OSR een geautomatiseerd systeem is dat ontworpen is om een breed scala aan producten op te slaan, zijn er beperkingen wat betreft de maximale afmetingen van deze producten. Producten die buiten deze afmetingen vallen, kunnen niet efficiënt worden opgeslagen of opgehaald door het OSR. Hierdoor is er voor bepaalde producten nog handmatige tussenkomst nodig.

Flexibiliteit

Bij een OSR-systeem moet er een gang worden voorzien tussen de rekken, wat resulteert in een verlies van opslagruimte. Bovendien moet er een shuttle-robot in elke gang aanwezig zijn, wat het uitbreiden van het systeem kostbaarder maakt.

Highbay:

Onderhoudsgevoelig

Om de optimale werking van highbay-opslagsystemen te garanderen, is regelmatig onderhoud en reparatie essentieel. Livlina heeft hiervoor een intern team opgezet, dat verantwoordelijk is voor het onderhouden van de complexe machines en automatiseringssystemen. Het onderhoud van dergelijke systemen is echter wel arbeidsintensief en kostbaar. Ook bij uitval van de machines wordt dit team telkens ingezet.

Operationele uitdagingen

Livlina heeft een strategische aanpak ontwikkeld om optimaal te werk te kunnen blijven gaan, zelfs in het geval van storingen of uitval van specifieke delen van het highbay-systeem. Om dit te bereiken, heeft Livlina ervoor gekozen om de producten van verschillende klanten te verspreiden over de verschillende rekken in de highbay. Op deze manier worden producten van meerdere klanten gemengd opgeslagen in elk rek. Deze aanpak stelt Livlina in staat om alle klanten te blijven bedienen, zelfs als een specifieke gang of kraan uitvalt. Deze strategie van gedeelde opslag biedt veerkracht en efficiëntie in het geval van storingen. Als bijvoorbeeld een kraan in een specifieke gang uitvalt, heeft dit geen grote invloed op de volledige klantenbasis die door die kraan wordt bediend, de producten van alle klanten liggen hiervoor op meerdere locaties. Bijvoorbeeld als een klant medicijn A wil opslaan dan zorgt Livlina ervoor dat medicijn A in gang 1, gang 2 en gang 3 voorzien wordt zodat wanneer de kraan in gang A uitvalt, het medicijn nog uit een van de andere gangen gehaald kan worden.

Noodzaak werknemers

Hoewel geautomatiseerde systemen hebben geleid tot een vermindering van het aantal werknemers dat nodig is voor bepaalde taken, benadrukt Livlina de noodzaak om werknemers te heroriënteren naar meer gespecialiseerde taken die de automatisering ondersteunen zoals de folies verwijderen voordat de depalrobot te werk kan gaan. Dit kan leiden tot een meer betrokken en gemotiveerd personeelsbestand, dat zich kan richten op taken met een hogere toegevoegde waarde.

3.1.1.6 Toekomst van automatisering

Livlina is over het algemeen tevreden met de beslissing om te investeren in automatisering voor hun magazijnactiviteiten, hoewel het nog te vroeg is om definitieve conclusies te trekken. Het geautomatiseerde magazijn in Tessenderlo werd pas rond 2021 operationeel, dus het is nog niet volledig benut zoals gepland. Toch zijn de resultaten tot nu toe zeer bemoedigend. Livlina merkt positieve ontwikkelingen op verschillende fronten, waaronder verbeteringen in operationele efficiëntie en kostenbesparingen door bijvoorbeeld de vermindering van fouten en de inzet van het personeel. Deze vroege successen suggereren dat de investeringen in automatisering op de lange termijn vruchten zullen afwerpen.

Final checking

Het toekomstplan van Livlina is om de final checking van producten verder te automatiseren. Momenteel wordt deze taak gedeeltelijk handmatig uitgevoerd. De producten worden eerst automatisch gewogen wanneer zij via de conveyor verder naar shipping gebracht worden. Wanneer er een afwijking wordt gedetecteerd, moet er nog steeds handmatig worden gecontroleerd of alle producten correct zijn verwerkt. Livlina streeft ernaar om dit proces volledig te automatiseren, mogelijk door gebruik te maken van geavanceerde technologieën zoals AI-camera's.

Een goed voorbeeld van hoe dit kan worden gerealiseerd, is te vinden bij bedrijven zoals Decathlon, waar alle producten in een bak worden geplaatst en vervolgens automatisch worden gescand. Op deze manier kan het systeem snel en nauwkeurig controleren of alle producten aanwezig zijn. Door het implementeren van een vergelijkbaar geautomatiseerd controlesysteem kan Livlina de nauwkeurigheid van haar final checking-processen verder verbeteren en tegelijkertijd de operationele efficiëntie verhogen. Dit zal niet alleen leiden tot minder fouten en een hogere klanttevredenheid, maar ook tot een betere inzet van personeel binnen het magazijn.

Palletiseringsrobots

De laatste stap in het magazijnproces van Livlina omvat het plaatsen van alle producten op de pallets, zodat ze gereed zijn voor verzending in vrachtwagens. Momenteel wordt dit proces nog handmatig uitgevoerd door werknemers, hoewel zij wel zijn uitgerust met stations waarbij de pallets op een ergonomisch verantwoorde hoogte kunnen worden afgesteld. Echter, er is nog geen automatisering voor dit proces geïmplementeerd.

Livlina overweegt echter om in de toekomst dit palettisatieproces ook te automatiseren door middel van palletiseringsrobots. Momenteel wordt dit nog niet gedaan vanwege de hoge kosten die gepaard

gaan met de implementatie van dergelijke robots. Aangezien er meerdere stations zijn waar dit proces plaatsvindt, zou het voorzien van een robot op elk station op dit moment nog te kostbaar zijn. Desondanks staat het automatiseren van het palettisatieproces wel op de agenda als onderdeel van toekomstige plannen van Livlina.

Al met al heeft de automatisering van processen binnen het magazijn van Livlina geleid tot aanzienlijke verbeteringen in efficiëntie, nauwkeurigheid en kostenbesparingen. Het bedrijf blijft zich inzetten voor het verkennen van nieuwe technologieën en het optimaliseren van hun automatiseringsprocessen om concurrentievoordeel te behouden en te blijven innoveren binnen hun sector.

3.1.2 Interview 2: Atlas Copco

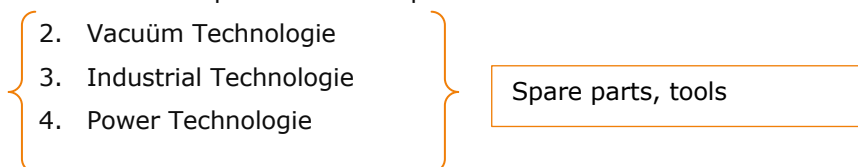
3.1.2.1 Inleiding

Atlas Copco is een wereldwijde speler die zich toelegt op het leveren van innovatieve apparatuur, technologieën en diensten voor verschillende sectoren. Het bedrijf biedt een breed scala aan producten, zoals compressoren, vacuümoplossingen, industriële gereedschappen, bouwmachines, pompen en meer.

Het interview vond plaats op de locatie in Hoeselt, Bilzen, waar industriële gereedschappen en assemblageoplossingen worden opgeslagen en klaargemaakt voor verzending.

Binnen de Atlascopco Groep zijn er vier belangrijke divisies die elk een specifiek domein van technologie en toepassing hebben. De distributie hub in Hoeselt speelt een cruciale rol in het wereldwijd leveren van de producten.

1. Compressor Techniek: Deze divisie is verantwoordelijk voor de productie van compressoren, dit deel vindt plaats in Antwerpen.



Binnen dit interview is er dieper ingegaan op de activiteiten van de divisies 2, 3 en 4, deze houden zich bezig met het verwerken van tools en reserveonderdelen, wat allemaal plaatsvindt op de locatie in Hoeselt (Bilzen).

Atlas Copco streeft ernaar om de belangrijkste speler te zijn in hun markt door technologieën van verschillende bedrijven aan te schaffen. Met een breed scala aan producten en diverse productieprocessen is het essentieel om in gedachten te houden dat niets standaard is, de producten komen in alle vormen en maten. Dit kan leiden tot een langzamer en complexer proces. Daarom is het cruciaal om processen te standaardiseren om efficiëntie te waarborgen.

Momenteel worden alle processen nog manueel uitgevoerd in het magazijn van Atlas Copco. Hoewel er technologische vooruitgangen zijn, zoals pick-by-voice, worden deze gebruikt om de processen te vergemakkelijken maar niet om volledig te automatiseren.

Een van de voornaamste redenen waarom Atlas Copco terughoudend is met het toepassen van automatisering, is de bedrijfscultuur. Het bedrijf heeft een voorzichtige benadering en wil eerst absolute zekerheid hebben over de effectiviteit van nieuwe processen voordat deze worden geïmplementeerd. Naast deze afwachtende houding spelen ook de kosten en de behoefte aan flexibiliteit een belangrijke rol bij hun besluitvorming. Atlas Copco wil er zeker van zijn dat de voordelen van automatisering opwegen tegen de investeringen en dat de nieuwe processen flexibel genoeg zijn om aan veranderende behoeften te voldoen.

Zoals eerder vermeld, staat Atlas Copco voor de uitdaging om zeer complexe producten te verwerken in een geautomatiseerd opslagsysteem. Het automatisatieproces vereist doorgaans gestandaardiseerde producten, wat een struikelblok vormt voor het bedrijf, gezien hun diverse assortiment. Echter, met de plannen voor vernieuwing en verbouwing van het magazijn en kantoorgebouw, heeft Atlas Copco besloten om dieper onderzoek te doen naar automatisatiemogelijkheden voor hun producten. Als gevolg hiervan hebben ze ervoor gekozen om enkele geautomatiseerde systemen te implementeren in hun nieuwe gebouw.

3.1.2.2 De toekomstige werking van het magazijn:

Het magazijnproces begint bij de inbound-afdeling, waar werknemers binnenkomende producten in dozen plaatsen, die geschikt zijn voor autostore, plaatsen. De producten die niet geschikt zijn voor autostore zullen verder vervoerd worden naar het manuele gedeelte in het gebouw. De dozen die wel geschikt zijn voor autostore worden vervolgens getransporteerd naar het autostore-systeem. Hier worden de dozen opgeslagen op specifieke locaties binnen het systeem. Wanneer een bepaald product nodig is, halen de robots van autostore de juiste bakken op en brengen deze naar de pickstations, autostore is dus een parts-to-picker systeem. Er is ook een deel van het magazijn voorzien voor handmatige opslag voor de grotere producten van Atlas Copco. Hierbij zal er gebruik gemaakt worden van de picker-to-parts methode om alle producten van de locaties op te halen.

Bij het pickstation geeft een geavanceerd systeem nauwkeurig aan hoeveel producten in welke doos moeten worden geplaatst en hoe dit moet gebeuren. De picker controleert de instructies, plaatst de juiste producten in de aangegeven doos en stuurt deze door naar de volgende transportband. Deze aanpak minimaliseert fouten.

Terwijl de doos op de conveyor verder beweegt, komt deze langs een gewicht controlepunt. Hier wordt gecontroleerd of het gewicht van de doos overeenkomt met de verwachte waarde, bijvoorbeeld of 10 schroefjes daadwerkelijk aanwezig zijn door hun gewicht te controleren. De doos komt vervolgens aan bij de packstations. Hier vullen de packers de doos met eventueel benodigde beschermende materialen en voeren eventueel waarde-toevoegende handelingen uit, zoals het plaatsen van specifieke labels op een product voor de klant. Als de doos correct is verpakt, gaat deze verder op de conveyor naar het laatste punt.

Dan komen de dozen aan bij de laatste stap in het proces, hier staan twee machines die ervoor zorgen dat de dozen automatisch worden gesloten. De eerste machine sluit de doos stevig, terwijl

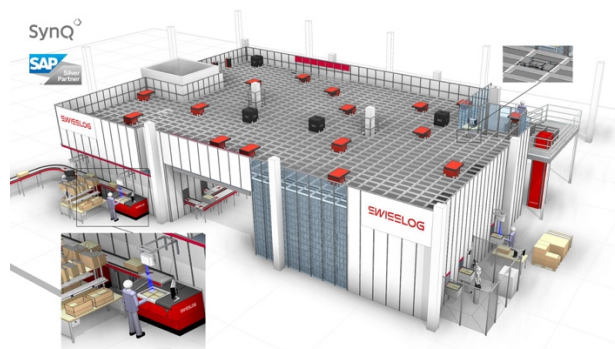
de tweede machine de paklijst en het verzendlabel automatisch op de doos plakt. Na deze stappen is de doos klaar voor verzending en wordt deze naar de vrachtwagens getransporteerd voor distributie naar de klanten.

3.1.2.3 Geautomatiseerde systemen:

Het bedrijf ziet nu dus wel de noodzaak om te automatiseren om efficiënter te kunnen opereren en de groeiende vraag naar hun producten bij te houden. Atlas Copco heeft dus plannen om hun magazijn uit te breiden en te voorzien van geautomatiseerde magazijnprocessen. Dit omvat het gebruik van een autostore-systeem voor het opslaan van kleinere producten en een verpakkingsrobot met gestandaardiseerde verpakkingsmaterialen.

Autostore

Dit bedrijf heeft gekozen voor het autostore-systeem in hun magazijnen vanwege verschillende strategische overwegingen die aansluiten bij hun behoeften aan efficiëntie, betrouwbaarheid en flexibiliteit. Het autostore-systeem, dat bestaat uit 60.000 opslagbakken en 20 robots, biedt een oplossing die perfect past bij de specifieke eisen van het bedrijf.



Figuur 21: Autostore-systeem (AutoStore, z.d.)

Het systeem bestaat uit een grid van opslagbakken die verticaal gestapeld zijn in een compacte ruimte. Elke opslagbak wordt bediend door een robot die zich op rails boven het grid beweegt. Wanneer een order binnenkomt, navigeren de robots autonoom door het grid naar de juiste opslaglocatie om de benodigde goederen op te halen. Vervolgens worden de goederen naar een pickstation gebracht, waar ze worden verzameld en klaargemaakt voor verzending.

Verpakkingsrobots

Atlas Copco zal ook een verpakkingsrobot voorzien in hun nieuw magazijn, dit is een perfecte oplossing om het proces van verpakken te standaardiseren en te stroomlijnen. Voor dit doel zullen dozen worden voorzien van vier verschillende maten, waarbij elke maat dezelfde hoogte heeft. De verpakkingsrobot, zoals te zien op figuur 21, zal deze dozen bijsnijden tot de gewenste afmetingen en vervolgens de randen vouwen om de doos correct af te sluiten. Daarna zal de robot de verzendlabel en pakbon op de doos plakken, waardoor het pakket klaar is voor verzending. Dit proces is een stap verder richting de standaardisatie van de processen en producten.



Figuur 22: Voorbeeld van een verpakkingsrobot (KUKA Robots Take on the Handling of Specialized Packaging, z.d.)

3.1.2.4 Impact van Automatisering: Voordelen

Autostore

Efficiëntie en Snelheid

Een van de belangrijkste redenen voor de keuze van autostore is de nadruk op efficiëntie boven snelheid. Atlas Copco heeft geen extreem hoge doorvoersnelheid nodig, maar wel een systeem dat efficiënt werkt. Daarom hebben zij gekozen voor het autostore systeem terwijl er andere systemen bestaan die sneller kunnen werken zoals bijvoorbeeld het shuttlesysteem. Het autostore-systeem optimaliseert de opslag, dit te wijten aan het feit dat de ruimte volledig benut wordt. Een shuttle-systeem vereist namelijk gangen tussen de rekken waar de robots zich voortbewegen, terwijl Autostore dit niet nodig heeft. Bij Autostore graven de robots van bovenaf, wat resulteert in een efficiënter ruimtegebruik (geen gangen nodig). Dit was voor Atlas Copco de reden om te kiezen voor Autostore, zij hebben namelijk geen snellere methode nodig hebben maar optimaal gebruik van de ruimte was wel een goed argument om voor autostore te kiezen. Dit systeem vermindert daarbij de noodzaak voor menselijke medewerkers om door het magazijn te navigeren en bespaart ook daardoor meer tijd en moeite.

Betrouwbaarheid

Betrouwbaarheid is een cruciale factor voor Atlas Copco. Ze willen een systeem dat consistent goed presteert en waarop ze kunnen vertrouwen voor hun dagelijkse operaties. AutoStore biedt deze betrouwbaarheid, het is namelijk zeer onwaarschijnlijk dat alle robots tegelijk zouden uitvallen. Bij een shuttlesysteem is dit meer risicovol, de uitval van een enkele robot kan leiden tot het uitschakelen van een hele rij binnen het systeem. Bij een shuttlesysteem moet grondig worden nagedacht over alternatieven om de flexibiliteit en betrouwbaarheid te waarborgen, zodat alle producten beschikbaar blijven. Autostore minimaliseert deze risico's en zorgt voor een continue beschikbaarheid van producten, doordat de robots zich allemaal over het volledige grid kunnen voortbewegen zonder complexe noodoplossingen.

Flexibiliteit

Flexibiliteit is een andere belangrijke reden waarom Atlas Copco voor autostore heeft gekozen. Het systeem kan eenvoudig worden uitgebreid door meer opslagbakken toe te voegen of extra pickstations te installeren.

Deze flexibiliteit stelt Atlas Copco in staat om snel te reageren op nieuwe klanten. Als er bijvoorbeeld plotseling een aantal nieuwe klanten binnen gehaald worden, is er nood aan meer opslagruimte binnen het magazijn. Door autostore te implementeren kunnen ze makkelijk extra opslagbakken toevoegen om deze producten te kunnen plaatsen en hierdoor kunnen de processen soepel blijven verlopen zonder dat er grote en kostbare verbouwingen nodig zijn. De mogelijkheid om het systeem eenvoudig uit te breiden en aan te passen maakt autostore een toekomstbestendig systeem. Daarbij kan het systeem zodanig worden geconfigureerd dat het rondom bestaande structuren en apparatuur kan worden geplaatst, hierdoor wordt de beschikbare magazijnruimte optimaal benut. Daarbij zijn er geen drastische aanpassingen nodig in de infrastructuur van het magazijn.

Verpakkingsrobots

Efficiëntie

De verpakkingsrobot automatiseert het proces van het bijsnijden en sluiten van dozen, waardoor de efficiëntie van het verpakkingsproces aanzienlijk wordt verbeterd. Daarbij worden de verpakkingen precies op maat gesneden naar omvang van het product, hierdoor is er ook beperkte opvulling nodig. De efficiëntie resulteert in een snellere verwerking van bestellingen en een kortere doorlooptijd.

Nauwkeurigheid

Door het gebruik van een verpakkingsrobot wordt de kans op fouten en inconsistente verpakkingen geminimaliseerd. Elk pakket wordt uniform en nauwkeurig verpakt volgens de vooraf ingestelde standaarden, waardoor de kwaliteit van de verpakkingen wordt verhoogd. Deze robots zijn ontworpen om elke taak met precisie en uniformiteit uit te voeren, wat leidt tot een consistente kwaliteit van de verpakkingen. Daarbij werken de verpakkingsrobots volgens vooraf ingestelde parameters en standaarden, wat betekent dat elk pakket precies hetzelfde wordt verpakt.

Flexibiliteit

Hoewel standaardisatie van verpakkingsformaten de efficiëntie verhoogt, biedt de verpakkingsrobot ook flexibiliteit. De robot kan worden geprogrammeerd om verschillende doosformaten te verwerken, waardoor Atlas Copco kan voldoen aan de diverse verpakkingsbehoeften van haar klanten. Door de mogelijkheid om meerdere verpakkingsformaten te hanteren, kan de verpakkingsrobot snel worden aangepast aan veranderende productievereisten zonder dat dit ten koste gaat van de efficiëntie.

3.1.2.5 Impact van Automatisering: Uitdagingen

Autostore

Systeembeperkingen

Een groot nadeel voor Atlas Copco is de diversiteit in de aard en omvang van de producten die ze verwerken. Deze diversiteit maakt het praktisch onmogelijk om het volledige opslag- en verwerkingsproces te automatiseren. Het autostore-systeem, hoe efficiënt en betrouwbaar dit ook is, heeft enkele beperkingen. Een grote beperking van dit systeem is de beperking in het gewicht, een doos kan een maximaal gewicht van 25 kilogram verwerken, deze beperking maakt het onmogelijk om alle producten te verwerken in de autostore. Ook de afmetingen van de producten

moeten aan bepaalde voorwaarden voldoen, wat het opslaan in het systeem ook weer beperkt. Hierdoor moet een deel van het magazijn beschikbaar blijven voor het handmatig opslaan en verwerken van bepaalde producten, zoals de grote pompen die worden verwerkt binnen Atlas Copco.

Handmatig werk

Het handmatig opslaan en verwerken van deze grotere producten vereist vaak speciale voorzieningen en aangepaste handelingsprocedures, wat extra complexiteit met zich meebrengt. De producten komen in alle vormen en maten dus hier moet rekening mee gehouden worden bij het opslaan en ophalen van de producten, denk hierbij aan bijvoorbeeld heftrucks. Het personeel moet getraind zijn in het veilig hanteren van deze apparatuur, dit kost ook geld en tijd.

Hoewel de automatisering van het magazijn aanzienlijke voordelen biedt in termen van efficiëntie en snelheid, erkent Atlas Copco dat het vanwege de aard van hun producten niet volledig geautomatiseerd kan worden. De hybride aanpak van het handmatig en automatisch opslaan van alle producten, stelt hen echter in staat om te profiteren van de voordelen van automatisering waar mogelijk. Door deze aanpak blijft dit bedrijf nog steeds flexibel in het omgaan met de diversiteit van hun productassortiment.

3.1.2.6 Toekomst van automatisering

In conclusie, Atlas Copco heeft plannen om hun magazijn tegen 2025 te automatiseren met de eerder benoemde systemen, autostore en verpakingsrobots. Hoewel ze tot nu toe terughoudend waren vanwege hun bedrijfscultuur en kostenoverwegingen en standaardisatie beperkingen, zullen deze implementaties naar verwachting helpen om de efficiëntie te verbeteren en de groeiende vraag naar hun producten aan te kunnen.

3.1.3 Interview 3: Jaga

3.1.3.1 Inleiding

Jaga is een bedrijf dat gespecialiseerd is in de productie en distributie van verwarmings- en koelsystemen. Het bedrijf staat bekend om zijn innovatieve en duurzame oplossingen op het gebied van verwarming, koeling en ventilatie. Bij Jaga, magazijn gelegen in Diepenbeek, werken ongeveer 200 medewerkers, waarvan 16 orderpickers verantwoordelijk zijn voor het efficiënt beheren van de voorraad en het verzamelen van orders. De orderpickers spelen een cruciale rol in hun magazijn, waar zij dagelijks bezig zijn met het handmatig verzamelen en verwerken van pickbonnen om ervoor te zorgen dat alle producten op tijd en correct worden geleverd.

Op dit moment heeft Jaga nog geen echte automatisatie geïmplementeerd in hun bedrijfsprocessen. Hoewel ze momenteel bezig zijn met het verkennen van mogelijkheden voor automatisatie, met name binnen hun productieprocessen, waar ze grote kansen zien voor kostenreductie en optimalisatie.

De focus van Jaga ligt echter vooral op de productie, wat ook begrijpelijk is gezien dit hun core business is en hun producten wereldwijd worden geleverd. Recentelijk heeft Jaga geïnvesteerd in

geavanceerde robots voor hun productielijnen, met kosten die variëren van 8 tot 10 miljoen euro per robot. Door eerst één robot te implementeren en na verloop van tijd te investeren in de volgende, probeert Jaga de kosten te beheersen en geleidelijk de voordelen van automatisering te realiseren

Zeker in de huidige markt waar automatisering een norm is, lopen bedrijven zonder moderne technologieën zoals Jaga, een verhoogd risico om achterop te raken ten opzichte van hun concurrenten. Concurrenten die al geautomatiseerde systemen gebruiken, kunnen sneller, goedkoper en betrouwbaarder leveren, wat hen een aanzienlijk concurrentievoordeel geeft. Maar ondanks hun achterstand in technologische ontwikkelingen, streeft Jaga vooral kwaliteit na. Dit bedrijf wil zijn klanten vooral tevreden stellen door producten te maken die precies gemaakt worden volgens de wens van hun klant dus wanneer een klant bijvoorbeeld zegt ik wil een radiator in de vorm van een palmboom, hoe complex de productie hiervan ook zal zijn, Jaga zal dit product precies zo leveren.

Omdat Jaga's magazijn slechts als een logistieke kostenpost wordt gezien, worden investeringen in automatisering van het magazijn uitgesteld tot het echt noodzakelijk is. De implementatie van scanners is een noodzakelijke stap om de fouten te verminderen, maar verdergaande automatisatie van het magazijn wordt pas overwogen als de noodzaak duidelijk is. Tot nu toe is uitgebreide automatisatie in het magazijn nog niet van toepassing.

3.1.3.2 De werking van het magazijn:

Bij Jaga wordt het magazijnwerk nauw geïntegreerd met de productieprocessen. Dit betekent dat producten na elke productiestap tijdelijk worden opgeslagen in het magazijn, in de buurt van de productielijn. De producten worden pas opgehaald wanneer de volgende productiestap begint. Deze aanpak heeft specifieke voordelen en uitdagingen, vooral gezien de diversiteit en omvang van de producten die Jaga produceert.

Zodra een bepaalde productiestap is voltooid, wordt het betreffende onderdeel tijdelijk opgeslagen in de directe omgeving van de productielijn. Dit zorgt ervoor dat producten snel en gemakkelijk beschikbaar zijn voor de volgende stap in het productieproces, wat de doorlooptijd vermindert en de transportkosten laag houdt. Wanneer de volgende productiestap begint, wordt het opgeslagen product of onderdeel opgehaald en naar de volgende productielijn gebracht. Dit proces herhaalt zich totdat het product volledig is geassembleerd en klaar is voor verzending, dan worden de producten tijdelijk opgeslagen tot de verzending door kan gaan en dit gebeurt ook handmatig aan de hand van heftrucks.

3.1.3.3 Huidige implementatie

Momenteel is Jaga bezig met de implementatie van het scanners, deze zullen worden gebruikt bij het scannen van ventielenmateriaal binnen hun magazijn. Tot voor kort verliep het orderpickproces bij Jaga volledig handmatig. Medewerkers werkten met pickbonnen, die fysiek werden afgedrukt en vervolgens werden alle producten handmatig uit de rekken gehaald. Dit proces was niet alleen tijdrovend, maar leidde ook vaak tot fouten, vooral bij het selecteren van ventielen. Ventielen zijn er

in vele varianten die visueel sterk op elkaar lijken, met codes die slechts in de laatste twee cijfers verschillen. Dit verhoogt de kans op vergissingen aanzienlijk. Nu wordt er eindelijk gewerkt aan de implementatie van scanners in het magazijn. Deze technologie zal helpen om fouten te verminderen door de orderpickers te voorzien van directe en nauwkeurige informatie. Hoewel dit een noodzakelijke stap vooruit is, benadrukt het ook hoe ver Jaga achterloopt op het gebied van automatisering. Scanners zullen dus helpen bij het minimaliseren van fouten door directe en nauwkeurige informatie te verstrekken. Jaga had zonder deze technologie vaak hogere foutpercentages, wat leidde tot meer klachten en extra kosten.

3.1.3.4 Reden tot geen geautomatiseerde systemen:

Budget

De voornaamste reden waarom Jaga nog geen automatisatie heeft toegepast is het beperkte budget dat beschikbaar is gesteld voor dit doel.

Maatwerk

Bij Jaga bestaat 80% van hun productie uit "one shots specials". Dit zijn op maat gemaakte producten voor individuele klanten. De complexiteit van deze producten maakt het moeilijk om standaardprocedures te implementeren voor automatisatie. Automatisatie kan enkel effectief toegepast worden wanneer de producten gestandaardiseerd worden, een robot kan bijvoorbeeld enkel stevige verpakkingen grijpen en geen zakjes en losse onderdelen. Klanten kunnen dus met de meest creatieve verzoeken komen zoals een radiator in de vorm van een palmboom en Jaga kan dit realiseren. Dit creatief vermogen is een van hun grootste troeven, maar het maakt automatisering ook complexer. Omdat de bestellingen vaak eenmalig en zeer specifiek zijn, is het moeilijk om vooraf gestandaardiseerde processen of automatiseringen in te stellen.

Hoewel Jaga zich niet specifiek onderscheidt door middel van automatisering, hebben ze nog steeds een sterke concurrentiepositie. Dit komt voornamelijk door hun focus op research en development en hun vermogen om maatwerk ter wens van de klant te leveren.

Grootte van de producten

De omvang van de producten die Jaga produceert, maakt automatisering in hun magazijn een uitdagende onderneming. Radiatoren en koelsystemen zijn namelijk grote producten en deze zouden bijvoorbeeld niet in een autostore passen. Het is belangrijk voor Jaga om na te gaan welke processen wel mogelijk zouden zijn bij hun specifiek assortiment.

3.1.3.5 Toekomst van automatisering

Jaga bevindt zich in een transitieperiode. Na twintig jaar van minimale investeringen in magazijnen of productie, beginnen ze nu de noodzakelijke stappen te zetten om zowel hun magazijn- als productieprocessen te moderniseren. Hun eerste focus ligt dus op het verbeteren van de productie met geavanceerde robots, maar ze hebben ook nog een toekomstplan om het lakproces van hun productie verder te optimaliseren met een geautomatiseerde lakruimte maar dit is ook in de productiekant van het bedrijf. In magazijnen beperkt dit bedrijf de automatisatie zo lang mogelijk

tot het niet anders kan door evt. fouten die moeten worden geminimaliseerd zoals eerder benoemd. Dit omdat het magazijn enkel als een kostenpost wordt gezien door Jaga.

Zodra Jaga besluit om hun magazijnprocessen te optimaliseren, is de eerste stap in hun automatiseringsstrategie het implementeren van AGV's (automated guided vehicles), in combinaties met orderpickers. Deze geavanceerde robots zijn in staat om producten automatisch door het magazijn te verplaatsen, wat vooral handig is bij het afsluiten van de laatste productiestap. Op dat moment moeten de afgewerkte producten naar verder gelegen opslaglocaties worden gebracht, de robots kunnen dan de producten verplaatsen tot de gewenste plaats waarna de werknemers deze producten verder kunnen wegzetten of verwerken. Ook bij het ophalen van producten voor verzending bieden AGV's een efficiënte oplossing, deze robots kunnen namelijk de producten ophalen uit de rekken en dan kunnen de orderpickers verder de producten samen zetten en verder klaarmaken voor verzending. Met deze geautomatiseerde methode kan Jaga zijn magazijnactiviteiten efficiënter en sneller laten verlopen.

De conclusie die hieruit kan worden genomen, is dat Jaga momenteel nog werkt met producten die te complex zijn om de magazijnprocessen effectief te automatiseren en de focus ligt op het maken van winst en het bedrijf wil de kost van de optimalisatie van hun magazijn zo lang mogelijk uitstellen. Pas wanneer het budget dit toelaat, zullen ze de mogelijkheid van automatisering van het magazijnbeheer overwegen. Deze stapsgewijze benadering stelt Jaga in staat om hun automatiseringsmogelijkheden te richten op gebieden waar ze de grootste impact kunnen hebben, in dit geval is dit nog binnen productie.

3.1.4 Interview 4: Delta Pharma

3.1.4.1 Inleiding

Delta Pharma is een farmaceutisch bedrijf dat zich richt op de distributie van medicijnen. Het bedrijf startte op in 2019 in België en is sindsdien uitgebreid tot Delta Group, met vestigingen in zes landen, namelijk België, Nederland, Duitsland, Tsjechië, Hongarije en Portugal. In de beginjaren beheerde Delta Pharma zelf het magazijn in België, aangezien de schaal van het bedrijf destijds nog relatief klein was. Naarmate de tijd verstreek en het aantal orders toenam, groeide het bedrijf aanzienlijk. Hierdoor werd het huidige gebouw, dat oorspronkelijk zowel kantoorruimte als magazijnruimte bood, volledig nodig voor kantoorruimtes. Het bedrijf begon zijn activiteiten dus in een gebouw waar kantoorruimtes op de bovenste etage werden gebruikt, terwijl op het gelijkvloers het magazijn was gevestigd.

Na drie jaar van aanzienlijke groei stond het bedrijf voor een belangrijke beslissing: investeren in een nieuw magazijn of het uitbesteden van de magazijnactiviteiten aan een externe partij. Het management van Delta Pharma besloot om de opties voor het magazijnbeheer zorgvuldig te overwegen en koos uiteindelijk voor de tweede optie: het uitbesteden van het magazijnbeheer aan een externe partij. Deze beslissing was gebaseerd op verschillende overwegingen, waaronder de kosten van het investeren in een nieuw magazijn, het prioriteren van de core business en de behoefte aan flexibiliteit om snel te kunnen inspelen op veranderende marktomstandigheden. Door het

magazijnbeheer uit te besteden aan een ervaren derde partij, kan Delta Pharma genieten van de service van gespecialiseerde logistieke diensten en infrastructuur zonder zelf de lasten van investeringen en operationele overhead te dragen. Bovendien bood deze aanpak het bedrijf de mogelijkheid om zich te concentreren op zijn kernactiviteiten, sales, en verdere groei te stimuleren.

3.1.4.2 De werking van het magazijn:

Wanneer de vracht met producten aankomt, worden de goederen uitgeladen in het magazijn. Dit is de eerste stap in het proces. De producten worden vervolgens handmatig gescand en gecontroleerd om te garanderen dat alles in orde is met de medicijnen, deze grondige controle is essentieel om ervoor te zorgen dat de kwaliteit en van de medicijnen behouden blijft. Na de controle worden de medicijnen in bakken geplaatst die geschikt zijn voor verdere verwerking in de autostore.

Vervolgens worden de bakken met gecontroleerde producten naar de autostore getransporteerd. In de autostore worden alle producten op een specifieke locatie opgeslagen. Zoals in het interview met Atlas Copco, wordt hier ook dezelfde werking van autostore gehanteerd, dit systeem maakt dus gebruik van geautomatiseerde robots die de producten efficiënt kunnen beheren en verplaatsen.

Wanneer er een order binnenkomt, activeren de gravers in de autostore het centrale systeem om het gewenste product op te sporen. De robots halen de benodigde bak met het product en transporteren deze naar het pickstation. Hier heeft een orderpicker een werkplek voorzien met een computer die alle details van de order weergeeft. Dit pickstation geeft details en specificaties van elk product weer, denk hierbij aan specificaties zoals de hoeveelheid, het gewicht en eventuele labels die op de producten moeten worden aangebracht. De orderpicker controleert aan de hand van de computer of alles klopt en plaatst de producten in een doos. Deze doos wordt vervolgens op een transportband geplaatst die naar de final check leidt. Bij de final check wordt het gewicht van de doos nogmaals gecontroleerd om zeker te zijn dat de inhoud correct is. Als alles in orde is, wordt de doos op een pallet geplaatst en naar de juiste locatie vervoerd voor verzending.

Delta Pharma communiceert duidelijk met de 3PL over welke producten nodig zijn, wanneer ze nodig zijn en waar ze moeten worden geleverd. Een goede communicatie is heel belangrijk in deze samenwerkingscontracten want het bedrijf is afhankelijk van de 3PL voor een vlot verloop van hun supply chain. Wanneer Delta Pharma alle informatie van hun eigen leveranciers of klanten verkregen heeft dan wordt deze tijdig en nauwkeurig verder gecommuniceerd aan de 3PL, op deze manier kunnen zij hun logistieke processen hierop afstemmen.

3.1.4.3 Geautomatiseerde systemen:

Een eerste proces dat zeer geschikt is gebleken voor automatisering is het voorraadbeheer. De medicijnen, met complexe namen en veel varianten, worden bij aankomst in het magazijn handmatig direct gescand en gecontroleerd. Dit proces wordt nog handmatig gedaan omdat het over delicate producten gaat, medicijnen, en hierdoor is er toch meer nood aan extra controle en toezicht om zeker te zijn van goed kwaliteit. Door de digitale scanners kunnen de producten automatisch toegevoegd aan het voorraadbeheer dat centraal wordt bijgehouden.

De volgende stap is het opslaan van alle goederen binnen het magazijn. Nadat alle data van de producten verzameld is voor het digitale beheer van de voorraad, krijgen de producten automatisch een fysieke opslaglocatie toegewezen via het systeem. Deze locatie vindt plaats in het autostore systeem.

Autostore

De 3PL heeft gekozen voor autostore als hun opslagsysteem, dit is voor de producten van Delta Pharma een perfecte optie omdat hier gewerkt wordt met medicijnen. Autostore is bijzonder geschikt voor de opslag en verwerking van kleinere items omdat het systeem werkt met bakken die maximaal 25 kg kunnen dragen. De producten moeten binnen deze bakken passen en dus ook voldoen aan bepaalde afmetingen. Medicijnen zijn over het algemeen kleine pakketjes, waardoor autostore een uitstekende keuze is voor Delta Pharma.

3.1.4.4 De impact van automatisatie: de voordelen

Afname fouten

De productiviteit en efficiëntie van de magazijnmedewerkers zijn verbeterd door de afname van menselijke fouten dankzij automatisering. Ondanks de automatisatie blijven er in bepaalde afdelingen, zoals bij de kwaliteitscontroles van medicijnen, werknemers nodig. Het grootste voordeel van automatisering tot nu toe is de reductie van fouten in zowel het systeem als in de verzending van orders, wat heeft geleid tot kostenbesparingen omdat werknemers hun tijd nu efficiënter kunnen besteden aan het verwerken van orders.

Snelheid en efficiëntie

De 3PL bekommt een snelle orderverwerking, robots kunnen snel en efficiënt producten ophalen en verplaatsen. Dit leidt tot snellere orderverwerkingstijden, wat de doorlooptijd van bestellingen aanzienlijk verkort. Hierdoor kan de 3PL de klant ook een latere ordertijd aanbieden, wanneer Delta Pharma de 3PL op een laat moment nog een order kan doorsturen dan is dit voor hun een groot voordeel wat de tevredenheid van Delta Pharma weer verhoogt. Door het gebruik van een autostore verkrijgt de 3PL ook een hogere nauwkeurigheid, het geautomatiseerde systeem vermindert het risico op fouten bij orderpicking, wat leidt tot hogere klanttevredenheid en daardoor ook betere bedrijfsresultaten.

Tot slot kan het personeel ook efficiënter ingezet worden, de medewerkers kunnen zich richten op het controleren van de kwaliteit van inkomende en uitgaande goederen. Taken zoals het inspecteren van producten op schade en het garanderen dat producten voldoen aan de specificaties van de klant wordt nog handmatig door het personeel gedaan. Doordat alle opslag activiteiten automatisch gebeuren krijgt het personeel meer specifieke taken, zoals de controlevoering, en worden hier dan ook beter in.

3.1.4.5 De impact van automatisatie: de uitdagingen

Onderhouden autostore-systeem

Het goed onderhouden van het autostore-systeem is belangrijk om de optimale werking van het systeem te garanderen. Net als bij andere geautomatiseerde systemen moeten de mechanische en elektronische componenten regelmatig worden geïnspecteerd, schoongemaakt en indien nodig gerepareerd of vervangen. De 3PL heeft vastgesteld dat het regelmatige onderhoud van Autostore een aanzienlijke uitdaging vormt. Dit komt doordat het onderhoud van het systeem niet alleen tijdrovend is, maar ook aanzienlijke kosten van materialen en personeel met zich meebrengt. Deze kosten zijn een extra last bovenop de reeds hoge investeringskosten voor het implementeren van Autostore.

3.1.4.6 Toekomst van automatisering

De investering en het onderzoek naar automatisering vereist veel tijd en financiële middelen, het rendement moet zorgvuldig worden afgewogen tegen de impact op de cashflow. Met het oog op de toekomst overweegt Delta Pharma serieus de mogelijkheid om eigen magazijnen te bouwen die vanaf het begin zijn uitgerust met de nodige automatiseringstechnologieën. Deze strategie zou het bedrijf in staat stellen om volledige controle te hebben over de logistieke processen en tegelijkertijd te profiteren van de efficiëntie en nauwkeurigheid die automatisering biedt.

Een belangrijke focus in deze toekomstplannen, bij implementatie van een eigen magazijn, is het automatiseren van de pickingprocessen. Picking is een van de meest arbeidsintensieve en foutgevoelige activiteiten in het magazijn, en automatisering hiervan kan Delta Pharma aanzienlijke voordelen bieden in termen van snelheid, nauwkeurigheid en kostenbesparing. Door het implementeren van geavanceerde picking-robotsystemen of geautomatiseerde opslagsystemen zoals autostore, zoals de 3PL, kan Delta Pharma de operationele efficiëntie verbeteren en tegelijkertijd de afhankelijkheid van handmatige arbeid verminderen.

Het bedrijf zal moeten evalueren hoe deze investeringen passen in hun lange termijn bedrijfsstrategie, hoe ze de cashflow zullen beïnvloeden en wat de verwachte ROI op de lange termijn zal zijn.

3.2 Automatiseringskeuzes in praktijk

In de literatuur van dit onderzoek is vastgesteld dat magazijnoptimalisatie steeds vaker plaatsvindt door middel van automatisatie van magazijnprocessen. Deze trend naar automatisering wordt gedreven door verschillende factoren, waaronder de groeiende vraag van magazijnen naar efficiëntie, nauwkeurigheid en snelheid in magazijnoperaties.

In deze sectie wordt de conclusie van alle interviews besproken en wordt een verband gelegd tussen de bevindingen van de literatuurstudie over magazijnoptimalisatie en de resultaten van het kwalitatieve onderzoek binnen de vier geselecteerde bedrijven.

3.2.1 Conclusie van de vier interviews

De interviews benadrukken de verschillende factoren die bedrijven overwegen bij het implementeren van automatisatie in hun magazijn. Terwijl het ene bedrijf actief bezig is met het implementeren van geautomatiseerde systemen binnen hun magazijn om efficiëntie te verbeteren en fouten te verminderen, heeft het andere bedrijf nog geen automatisatie toegepast vanwege budgettaire en operationele overwegingen. Het is belangrijk voor bedrijven om een strategie te ontwikkelen die past bij hun specifieke behoeften en omgeving, en om rekening te houden met de mogelijke voordelen en uitdagingen van automatisatie.

Uit de interviews blijkt dat de benadering en implementatie van automatisatie in magazijnen sterk varieert tussen bedrijven, afhankelijk van factoren zoals bedrijfscultuur, budget, specifieke bedrijfsbehoeften en de aard van de producten. Over het algemeen erkennen alle bedrijven de potentieel positieve impact van automatisatie, zoals verhoogde efficiëntie, vermindering van fouten en kostenbesparingen. Toch blijft de overgang naar volledige automatisatie voor sommigen een toekomstplan, waarbij momenteel gedeeltelijke of geen automatisatie wordt toegepast.

In de volgende secties, 3.2.1.1 en 3.2.1.2, worden de overeenkomsten en verschillen tussen de geïnterviewde bedrijven uiteengezet. Hierbij wordt nagegaan welke systemen en plannen succesvol blijken te zijn voor het ene bedrijf, terwijl ze mogelijk minder effectief zijn voor een ander bedrijf.

3.2.1.1 Gelijkenissen

- **Toekomstgerichte plannen:**

Elk bedrijf, ongeacht de huidige stand van automatisatie, erkent het belang van automatisering voor de toekomst en heeft plannen of intenties om hierin verder te gaan.

- **Behoud van handmatige processen:**

Zelfs bedrijven die investeren in automatisatie erkennen de noodzaak om sommige processen manueel te behouden, vooral voor taken die complexe menselijke interventie vereisen of specifieke, niet-standaard producten betreffen. Zowel bij Livlina als bij Atlas Copco werd een deel van het magazijn behouden voor handmatig wegzetten en orderpicken van de producten. Dit komt doordat de producten te complex zijn voor geautomatiseerde systemen zoals autostore en het OSR.

- **Focus op vermindering van fouten:**

Alle bedrijven streven naar verhoogde efficiëntie en productiviteit door menselijke fouten te verminderen. Orderpicking is een cruciale factor in de optimalisatie van magazijnprocessen, omdat het een hoog risico op fouten met zich meebrengt. Daarom is het belangrijk voor bedrijven om dit proces te automatiseren. Fouten ontstaan gemakkelijk bij het tellen van hoeveelheden en het controleren van codes, waardoor automatisering nuttig is om deze stap te verbeteren.

- **Standaardisatie:**

Het standaardiseren van processen is essentieel voor bedrijven die streven naar automatisering van hun magazijnactiviteiten. Een cruciale eerste stap in dit proces is het identificeren van gebieden waar productstandaardisatie mogelijk is. Atlas Copco en Livlina worden bijvoorbeeld

geconfronteerd met soortgelijke uitdagingen. Beide bedrijven werken vaak met kleine onderdelen zoals schroeven bij Atlas Copco en pakketten zoals luiers bij Livlina, die moeilijk te hanteren zijn voor robots. Om dit probleem aan te pakken, streven beide bedrijven naar standaardisatie van verpakkingen, waardoor robots deze producten effectiever kunnen grijpen en verwerken.

- **Budget:**

Een vertraging in het proces van magazijnautomatisering wordt vaak veroorzaakt door het budget. Automatisering brengt hoge kosten met zich mee, waardoor bedrijven niet alles in één keer kunnen automatiseren of soms helemaal niet kunnen automatiseren. Hoewel de intentie er vaak is, laat het budget dit niet altijd toe. Livlina heeft plannen om de laatste stap van hun proces te automatiseren, waarbij alle afgewerkte en verpakte producten op pallets gestapeld moeten worden voor verzending in vrachtwagens. Echter, op dit moment ontbreekt het hen aan het benodigde budget om meerdere robots te implementeren voor deze taak. Op vergelijkbare wijze heeft Jaga ook budgetproblemen. Zij willen eerst hun productie automatiseren, waardoor er geen budget overblijft om tegelijkertijd hun magazijn te automatiseren.

- **Invloed op werknemers:**

Alle bedrijven verwachten dat automatisering de efficiëntie zal verhogen, en hun huidige ervaringen met de impact op werknemers komen overeen. Zowel Livlina als Atlas Copco zien een duidelijke afname in het aantal benodigde werknemers. Echter, er blijft altijd een noodzaak voor personeel, bijvoorbeeld voor handmatige controles. Ook het orderpicken (in de pickstations) zal voor een groot deel handmatig moeten gebeuren, zelfs met de pickrobots van Livlina.

3.2.1.2 Tegenstellingen

- **Niveau van implementatie:**

Sommige bedrijven, zoals Atlas Copco en Livlina, bevinden zich in de beginfasen van automatisatie of plannen uitbreidingen en nieuwe automatiseringstechnologieën. Jaga daarentegen, kiest ervoor om geen grote automatiseringsprojecten te implementeren. Jaga bevindt zich bijvoorbeeld nog in een zeer vroege fase van het invoeren van technologieën, zoals scanners, die bij bedrijven zoals Atlas Copco en Livlina al lange tijd in gebruik zijn.

- **Redenen voor vertraging:**

Atlas Copco noemt bedrijfscultuur en afwachtend karakter als redenen om automatisering uit te stellen, terwijl bij Jaga de budgettaire beperking een struikelblok vormt.

- **Nood voor automatisatie:**

Alle bedrijven die zijn geïnterviewd, implementeren een vorm van automatisatie of technologische middelen in hun eigen magazijn, behalve Delta Pharma. In plaats daarvan heeft dit bedrijf ervoor gekozen om haar magazijnbeheer uit te besteden om zich te concentreren op haar kernactiviteiten.

- **Type robots:**

Elk bedrijf heeft zijn eigen voorkeur voor het optimaliseren van bepaalde stappen. Livlina richt zich op snelheid en heeft daarom gekozen voor een OSR-systeem met gangen tussen de rekken, waar robots snel producten kunnen ophalen. Aan de andere kant streeft Atlas Copco naar een optimale ruimtebenutting. Daarom hebben zij gekozen voor autostore, een systeem dat gebruik

maakt van gravers boven op het systeem, waardoor er geen gangen nodig zijn en dus minder ruimte op de vloer in beslag genomen wordt.

- **Veranderingen aan het magazijn:**

Zowel Livlina als Atlas Copco kozen ervoor om automatisatie te implementeren tijdens structurele verbouwingen aan hun gebouwen. Atlas Copco nam bijvoorbeeld het besluit om hun gebouwen volledig te gaan renoveren en moderniseren, waarbij ze tegelijkertijd gaan beginnen met het integreren van automatisering in deze vernieuwde ruimtes. Livlina maakte een vergelijkbare keuze toen ze een nieuwe vestiging openden in Tessenderlo, zij kozen ervoor om automatisatie te integreren tijdens de bouw van deze nieuwe locatie. Delta Pharma overwoog echter ook om een nieuwe vestiging te openen voor hun magazijnbeheer, maar na uitgebreid beraad en overleg besloten ze uiteindelijk om dit uit te besteden. Als gevolg hiervan hebben ze hun bestaande gebouw omgebouwd tot alleen kantoorruimtes.

- **Keuze van proces voor automatisatie:**

Alle bedrijven hebben ervoor gekozen om hun magazijn te optimaliseren door middel van automatisering, met uitzondering van Jaga. Jaga geeft er de voorkeur aan om in eerste instantie hun productie te automatiseren. Pas wanneer het budget dit toelaat, overwegen ze om ook hun magazijn te automatiseren. Deze strategische benadering stelt Jaga in staat om eerst de kern van hun bedrijfsactiviteiten te versterken voordat ze investeren in hun secundaire processen zoals magazijnautomatisering.

3.2.2 Link tussen literatuurstudie en kwalitatief onderzoek

De interviews hebben meer inzicht geboden in de praktische toepassingen en uitdagingen van magazijnoptimalisatie binnen de bedrijfscontext. Een belangrijke bevinding is dat alle geïnterviewde bedrijven in verschillende mate gebruik maken van automatisering om hun magazijnprocessen te optimaliseren. Deze bevinding sluit aan bij de bevindingen van de literatuurstudie, waarin is vastgesteld dat automatisering een steeds belangrijkere rol speelt in magazijnoperaties.

Efficiëntie en kostenbesparingen

Een gemeenschappelijk thema in de conclusies van de interviews is de nadruk op efficiëntieverbeteringen en kostenbesparingen door automatisering. De bedrijven benadrukten de voordelen van geautomatiseerde opslagsystemen, robotica en geavanceerde software voor voorraadbeheer in termen van verhoogde snelheid, nauwkeurigheid en ruimtebenutting. Deze bevindingen komen overeen met de literatuur, waarin wordt benadrukt dat automatisering kan leiden tot verbeterde operationele efficiëntie en lagere operationele kosten. De literatuurstudie benadrukte bijvoorbeeld de optimale benutting van de beschikbare ruimte als een belangrijk voordeel van systemen zoals de autostore. Het kwalitatieve onderzoek, meer specifiek het interview met Atlas Copco, bevestigt dat deze optimalisatie van ruimte inderdaad een belangrijk voordeel blijkt te zijn. De literatuur benadrukt vaak dat het gebruik van automatisatiesystemen ideaal is om de beschikbare ruimte efficiënt te benutten, een aspect dat ook wordt bevestigd door het interview met Atlas Copco.

Hoge investeringskosten

Daarnaast identificeerden de interviews enkele specifieke uitdagingen en beperkingen bij de implementatie van automatisering, zoals initiële investeringskosten, technologische complexiteit en personeelstraining. Dit aspect kwam ook naar voren in de literatuurstudie: hoewel bedrijven vaak de intentie hebben om automatisering toe te passen, is dit niet altijd haalbaar. De hoge investeringskosten vormen vaak een aanzienlijke drempel. Zelfs als een bedrijf uitstekende plannen heeft om hun magazijn te optimaliseren met automatisering, kunnen budgetbeperkingen dit belemmeren. Voor kleinere, startende bedrijven vormt dit een nog grotere uitdaging.

Dit kwam ook duidelijk naar voren in de interviews met Jaga en Delta Pharma. Delta Pharma, bijvoorbeeld, is een opkomend bedrijf dat een snelle groei doormaakt. Ondanks hun ambitie om in de toekomst eventueel automatisatie toe te passen binnen hun magazijnen, hebben ze ervoor gekozen om zich op dit moment te concentreren op hun kernactiviteit, de verkoop. Jaga is ook een goed voorbeeld. Hoewel ze jarenlang geen automatisering hebben toegepast, hebben ze nu besloten om hun productieprocessen te automatiseren. Hun focus ligt op het produceren van op maat gemaakte producten en dit bedrijf wil eerst de winst verhogen voordat het investeert in magazijnautomatisering. De conclusie hieruit is dat veel bedrijven prioriteiten moeten stellen en budgettaire afwegingen moeten maken. Hoewel automatisering voordelen biedt, is het niet altijd eenvoudig voor bedrijven om hiervoor de benodigde financiële middelen vrij te maken.

Menselijke tussenkomst

Zowel in de literatuurstudie als in het kwalitatieve onderzoek kwam naar voren dat personeel nog steeds nodig is voor bepaalde taken, zelfs bij automatisering. Er heerst vaak de misvatting dat geautomatiseerde systemen volledig zonder menselijke tussenkomst kunnen werken. Echter, in veel gevallen is menselijke betrokkenheid nog steeds vereist maar dan in een andere rol.

Vroeger kregen werknemers taken zoals het tellen, scannen en zoeken van producten. Nu worden deze taken omgevormd tot controlerende taken. Werknemers worden op een andere manier ingezet, bijvoorbeeld door het controleren van verpakkingen op beschadigingen die mogelijk zijn veroorzaakt door robots. Ook kunnen ze ingeschakeld worden om defecten te controleren die door het systeem zijn gedetecteerd, of om systemen bij uitval weer operationeel te maken. Zowel bij Livlina als bij Atlas Copco werd dit duidelijk naar voren gehaald, zij hebben of gaan hun processen grotendeels automatiseren maar de menselijke handelingen blijven nodig in bepaalde delen van hun magazijn. Het is niet mogelijk om een robot een hele nacht te laten draaien door bijvoorbeeld te picken, de producten moeten toch door een mens gecontroleerd worden wanneer er een fout wordt geregistreerd door het systeem, wanneer dit gebeurt valt het systeem stil tot de werknemer deze controle heeft uitgevoerd.

De beperkingen van autostore

In de interviews kwamen ook de beperkingen naar voren die eerder werden genoemd in de literatuurstudie over autostore. Enkele van deze beperkingen zijn onder meer de beperkte toegang tot individuele items, wat kan leiden tot inefficiëntie bij het ophalen van producten, vooral als ze

onderaan de stapel liggen. Daarnaast kunnen de hoge initiële investeringskosten een obstakel vormen voor bedrijven die overwegen om autostore te implementeren. Een andere beperking is de beperkte flexibiliteit voor productvariatie. Omdat autostore is ontworpen voor gestandaardiseerde opslag in bins, kan het systeem minder geschikt zijn voor bedrijven met een grote variëteit aan producten of productformaten. Dit aspect kwam ook ter sprake in de interviews. Hoewel de optimale benutting van de ruimte een belangrijk voordeel was voor de bedrijven die autostore gebruikten, bleek het beperken van de opslagruimte voor bepaalde producten een significante uitdaging te vormen. Dit dwong bedrijven om extra ruimtes en voorzieningen te creëren voor de grotere producten die niet in autostore konden worden opgeslagen.

Conclusie

Door de bevindingen van de literatuurstudie en de resultaten van het kwalitatieve onderzoek samen te brengen, wordt een volledig beeld geschetst van de huidige trends, uitdagingen en kansen op het gebied van magazijnoptimalisatie. Dit biedt waardevolle inzichten voor bedrijven die streven naar verbetering van hun magazijnprocessen.

Hoofdstuk 4: Conclusie

Deze masterproef over de impact van automatisatie op magazijnprocessen biedt een diepgaand inzicht in hoe geavanceerde technologieën en systemen de operationele efficiëntie, nauwkeurigheid en kostenbeheersing in magazijnen transformeren. In deze conclusie worden de belangrijkste bevindingen samengevat en worden aanbevelingen gedaan voor de implementatie van automatisatie binnen magazijnprocessen en toekomstig onderzoek. Tot slot zullen de beperkingen binnen dit onderzoek kort worden toegelicht.

Belangrijkste bevindingen

Deze masterproef heeft een uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de impact van automatisatie op magazijnprocessen, beginnend met een uitgebreide literatuurstudie. Uit deze studie kwamen verschillende belangrijke bevindingen naar voren.

Automatisatie in magazijnprocessen heeft bewezen grote voordelen te bieden op verschillende gebieden. Allereerst blijkt dat automatisatie aanzienlijke voordelen biedt op het gebied van efficiëntie en productiviteit. Geautomatiseerde systemen zoals pick-and-place robots, conveyor belts en automatische opslagsystemen verkorten de tijd die nodig is voor orderpicking, sorteren en verplaatsen van goederen. Dit resulteert in snellere doorlooptijden en een hogere doorvoer van goederen. Daarbij zorgt de automatisatie van magazijnprocessen voor een verbetering in nauwkeurigheid en een reductie van fouten. Technologieën zoals barcode scanning, RFID en geautomatiseerde data-invoersystemen verminderen menselijke fouten die vaak voorkomen bij handmatige processen. Dit leidt tot minder foutieve leveringen en retourzendingen, wat uiteindelijk de klanttevredenheid verhoogt.

Naast efficiëntie en nauwkeurigheid, dragen geautomatiseerde systemen ook bij aan de veiligheid en ergonomie binnen magazijnen. Door fysiek zware en repetitieve taken over te nemen, verminderen machines het risico op arbeidsongevallen en werkgerelateerde blessures. Dit heeft een positieve invloed op de gezondheid en het welzijn van werknemers.

Verder bieden geautomatiseerde systemen een hoge mate van flexibiliteit en schaalbaarheid. Dit stelt bedrijven in staat om snel te reageren op veranderende marktvraag en seizoensgebonden fluctuaties. Deze flexibiliteit is vooral merkbaar bij systemen zoals Autostore. Autostore maakt gebruik van gestandaardiseerde bins die bovenop elkaar gestapeld worden, waardoor het systeem eenvoudig kan worden uitgebreid of aangepast aan de behoeften van een groeiend bedrijf. Bij toenemende vraag kunnen eenvoudig extra bins aan het systeem worden toegevoegd om de capaciteit te vergroten zonder grote wijzigingen aan de infrastructuur. Dit stelt bedrijven in staat om snel op te schalen en te profiteren van groeimogelijkheden zonder aanzienlijke verstoring van de operaties.

Deze bevindingen uit de literatuurstudie werden verder bevestigd door kwalitatief onderzoek, waarbij interviews met logistieke medewerkers inzicht gaven in de praktische toepassing van automatisatie

in verschillende bedrijven. De voordelen en uitdagingen die in de literatuur werden geïdentificeerd, kwamen overeen met de praktijkervaringen van de geïnterviewde bedrijven.

Hoewel veel bedrijven willen automatiseren, blijkt dat de hoge kosten van automatisering een groot struikelblok vormen. De initiële investeringskosten voor het implementeren van de nieuwste technologieën kunnen aanzienlijk zijn, waardoor sommige bedrijven aarzelen om deze stap te zetten. Deze kosten omvatten niet alleen de aanschaf van geautomatiseerde systemen zoals pick-and-place robots, conveyor belts, en automatische opslagsystemen, maar ook de integratie van deze technologieën in bestaande infrastructuur en de training van personeel om met deze nieuwe systemen te werken.

Toch tonen de resultaten van dit onderzoek aan dat de lange termijn voordelen van automatisatie de initiële investeringen vaak rechtvaardigen. Door gebruik te maken van automatisatie kunnen bedrijven op de lange termijn aanzienlijke kostenbesparingen realiseren. Geautomatiseerde systemen verhogen de efficiëntie door de tijd die nodig is voor orderpicking, sorteren en verplaatsen van goederen te verkorten. Dit leidt tot snellere doorlooptijden en een hogere doorvoer van goederen, wat uiteindelijk resulteert in lagere operationele kosten.

Ondanks de uitdagingen van hoge initiële kosten, benadrukt dit onderzoek de potentiële impact van geavanceerde technologieën op de optimalisatie van magazijnprocessen. De bevindingen bieden waardevolle inzichten voor bedrijven die overwegen hun magazijnoperaties te moderniseren. Bedrijven die de stap naar automatisatie zetten, kunnen op de lange termijn profiteren van verhoogde efficiëntie, verbeterde nauwkeurigheid, verbeterde veiligheid en aanzienlijke kostenbesparingen.

Kortom, de automatisatie van magazijnprocessen biedt aanzienlijke voordelen die de operationele efficiëntie, nauwkeurigheid en veiligheid verbeteren. De toekomst van magazijnautomatisering zal waarschijnlijk gekenmerkt worden door verdere innovaties en verbeteringen, waardoor bedrijven nog beter in staat zullen zijn om te voldoen aan de dynamische eisen van de markt.

Aanbevelingen en beperkingen

Aanbevelingen

Deze masterproef heeft de basis gelegd voor een beter begrip van de impact van automatisatie op magazijnprocessen, maar er blijven nog een aantal vragen open voor toekomstig onderzoek. Om een compleet beeld te krijgen van de gevolgen en mogelijkheden van automatisatie in de logistieke sector, zijn er enkele belangrijke gebieden die verdere studie vereisen.

Ten eerste is er behoefte aan diepgaand onderzoek naar de langetermijneffecten van automatisatie op werkgelegenheid in de logistieke sector. Het is essentieel om niet alleen de mogelijke vermindering van banen als gevolg van automatisering te onderzoeken, maar ook de kansen voor omscholing van werknemers en de ontwikkeling van nieuwe technologische vaardigheden. Dit onderzoek moet zich richten op hoe werknemers kunnen worden voorbereid op de veranderende

eisen van geautomatiseerde magazijnprocessen en hoe zij kunnen worden ingezet in nieuwe rollen die ontstaan door technologische vooruitgang. Begrip van deze dynamiek is cruciaal voor het bevorderen van een inclusieve en duurzame overgang naar geautomatiseerde systemen in magazijnen.

Daarnaast is verder onderzoek naar opkomende technologieën zoals kunstmatige intelligentie (AI), machine learning en Digital Twin van groot belang om de toekomst van magazijnautomatisatie te begrijpen. Het is noodzakelijk te onderzoeken hoe deze technologieën kunnen worden toegepast om magazijnprocessen verder te transformeren en optimaliseren. Dit onderzoek moet niet alleen de technische aspecten en toepassingsmogelijkheden van deze technologieën omvatten, maar ook de praktische implementatie en integratie in bestaande magazijnsystemen. Bedrijven moeten zich bewust zijn van de nieuwste ontwikkelingen in de sector en hun systemen up-to-date houden, aangezien technologische vooruitgang snel gaat en innovaties van vandaag morgen al verouderd kunnen zijn.

Door de opkomende technologieën grondig te bestuderen en te begrijpen, kunnen bedrijven inspelen op toekomstige veranderingen en hun strategieën dienovereenkomstig aanpassen. Deze aanbevelingen zijn bedoeld om de kennisbasis te versterken en bedrijven beter voor te bereiden op de uitdagingen en kansen die de toekomst van magazijnautomatisatie met zich meebrengt.

Beperkingen rond automatisatie

Een succesvolle implementatie van automatisatie in magazijnbeheer vereist een grondige strategische planning als fundament. Het is van cruciaal belang dat bedrijven hun huidige processen zorgvuldig analyseren en duidelijke doelstellingen formuleren voor hun automatisatieprojecten. Hierbij is het betrekken van belanghebbenden uit verschillende afdelingen essentieel, omdat dit kan helpen bij het verkrijgen van een uitgebreider inzicht in de behoeften en verwachtingen.

Daarnaast speelt investeren in training een essentiële rol bij het maximaliseren van de voordelen van automatisatie. Werknemers moeten niet alleen worden opgeleid in het gebruik van nieuwe systemen, maar ook in het optimaliseren en onderhouden ervan. Een goed opgeleid personeelsbestand is cruciaal voor een soepele overgang naar geautomatiseerde processen. Ook een gefaseerde aanpak bij de implementatie van automatisatie kan de overgang versoepelen en risico's verminderen. Het starten met pilotprojecten in specifieke delen van het magazijn stelt bedrijven in staat om de impact te beoordelen en eventuele aanpassingen door te voeren voordat het volledige uitrol plaatsvindt. Dit vermindert de kans op onvoorziene problemen en maakt een geleidelijke aanpassing mogelijk.

Tot slot is het van groot belang om geautomatiseerde systemen continu te monitoren en te optimaliseren. Door voortdurend de prestaties te evalueren en gebruik te maken van data-analysetools kunnen knelpunten worden geïdentificeerd en processen worden verbeterd. Dit bevordert een efficiënt en effectief gebruik van geautomatiseerde systemen in het magazijnbeheer, wat essentieel is voor het behalen van concurrentievoordeel in een steeds veranderende markt.

Beperkingen eigen onderzoek

Een belangrijke beperking van deze masterproef is het beperkte aantal geïnterviewden. Met slechts vier logistieke medewerkers die zijn geïnterviewd, is de steekproefgrootte te klein om brede en definitieve conclusies te trekken over de impact van automatisatie op magazijnprocessen. Hoewel de inzichten die uit deze interviews zijn verkregen waardevol zijn, kunnen ze niet representatief zijn voor de gehele sector. Toekomstig onderzoek zou moeten streven naar een grotere en meer diverse steekproef om de bevindingen te bevestigen en een uitgebreider beeld te krijgen van de praktijken en ervaringen met magazijnautomatisatie in verschillende bedrijfscontexten.

De volgende beperking gaat over de beschikbaarheid van gegevens. De bedrijven waren niet bereid om volledige toegang te geven tot hun interne gegevens en systemen, wat leidde tot een afhankelijkheid van secundaire gegevens door de geïnterviewden. Dit kan de nauwkeurigheid en volledigheid van de bevindingen beïnvloeden. Bijvoorbeeld, specifieke kosten van magazijnen of bepaalde robots werden niet verstrekt. Hierdoor kon de studie geen gedetailleerde financiële analyses uitvoeren en bleef het inzicht in de kosten-batenverhoudingen van automatisering beperkt. Deze beperking benadrukt de noodzaak voor toekomstig onderzoek met uitgebreidere en meer gedetailleerde toegang tot bedrijfsgegevens om de resultaten te versterken en de bevindingen te verifiëren.

Een laatste belangrijke beperking is het gebrek aan uitgebreid en actueel cijfermateriaal over de stand van automatisatie in magazijnen. Veel bedrijven houden hun gegevens over de mate van automatisering en de prestaties van geautomatiseerde systemen intern, waardoor het moeilijk is om een volledig en representatief beeld te krijgen van de huidige stand van zaken in de sector. Dit gebrek aan gedetailleerde en betrouwbare data beperkt de mogelijkheid om brede conclusies te trekken en de bevindingen te generaliseren. Toekomstig onderzoek zou moeten streven naar het verkrijgen van meer uitgebreide kwantitatieve data om een nauwkeuriger beeld te schetsen van de automatiseringstrends en hun impact op magazijnprocessen.

Literatuurlijst

- A, Ramaa., N. Subramanya, K., & M. Rangaswamy, T. (2012). Impact of Warehouse Management System in a Supply Chain. *International Journal of Computer Applications*, 54(1), 14-20. <https://doi.org/10.5120/8530-2062>
- Ardjmand, E., Sanei Bajgiran, O., & Youssef, E. (2019). Using list-based simulated annealing and genetic algorithm for order batching and picker routing in put wall based picking systems. *Applied Soft Computing*, 75, 106-119. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.11.019>
- Ashrafiyan, A., Pettersen, O.-G., Kuntze, K. N., Franke, J., Alfnes, E., Henriksen, K. F., & Spone, J. (2019). Full-Scale Discrete Event Simulation of an Automated Modular Conveyor System for Warehouse Logistics. In F. Ameri, K. E. Steckel, G. von Cieminski, & D. Kiritsis (Red.), *Advances in Production Management Systems. Towards Smart Production Management Systems* (pp. 35-42). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29996-5_4
- ASRS System | AS/RS Automated Storage and Retrieval System Rack | Frazier. (z.d.). *Frazier Industrial Company*. Geraadpleegd 10 maart 2024, van <https://frazier.com/storage-solutions/asrs/>
- Automatisering magazijn | MotracLinde. (z.d.). Geraadpleegd 16 januari 2024, van <https://www.motrac.be/linde/nl/oplossingen/magazijnoplossingen/automatisering-magazijn>
- Automatisering van uw warehouse en logistiek | VMS. (z.d.). *Specialist in het automatiseren van goederenstromen en logistieke processen* | VMS. Geraadpleegd 12 januari 2024, van <https://www.vms.nl/sector/warehousing-and-logistics/>
- Azadeh, K., De Koster, R., & Roy, D. (2019). Robotized and Automated Warehouse Systems: Review and Recent Developments. *Transportation Science*, 53(4), 917-945. <https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0873>
- 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>
- Baker, P., & Halim, Z. (2007). An exploration of warehouse automation implementations: Cost, service and flexibility issues. *Supply Chain Management: An International Journal*, 12(2), 129-138. <https://doi.org/10.1108/13598540710737316>
- Bartholdi III, J. J., & Hackman, S. T. (2016). Warehouse & distribution science: Release 0.97. Supply Chain and Logistics Institute.
- Battini, D., Calzavara, M., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2015). A comparative analysis of different paperless picking systems. *Industrial Management & Data Systems*, 115(3), 483-503. <https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2014-0314>
- Bolaños Zuñiga, J., Saucedo Martínez, J. A., Salas Fierro, T. E., & Marmolejo Saucedo, J. A. (2020). Optimization of the Storage Location Assignment and the Picker-Routing Problem by Using Mathematical Programming. *Applied Sciences*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/app10020534>
- Boysen, N., Briskorn, D., & Emde, S. (2017). Parts-to-picker based order processing in a rack-moving mobile robots environment. *European Journal of Operational Research*, 262(2), 550-562. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.053>

- Boysen, N., de Koster, R., & Weidinger, F. (2019). Warehousing in the e-commerce era: A survey. *European Journal of Operational Research*.
- Boysen, N., Schwerdfeger, S., & Stephan, K. (2023). A review of synchronization problems in parts-to-picker warehouses. *European Journal of Operational Research*, 307(3), 1374-1390. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.09.035>
- Boysen, N., Stephan, K., & Weidinger, F. (2019). Manual order consolidation with put walls: The batched order bin sequencing problem. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 8(2), 169-193. <https://doi.org/10.1007/s13676-018-0116-0>
- Co, H. C., Eddy Patuwo, B., & Hu, M. Y. (1998). The human factor in advanced manufacturing technology adoption. *International journal of operations & production management*, 18(1), 87-106.
- Colakovic, A., Causevic, S., Kosovac, A., Muharemovic, E., 2020]. A review of enabling technologies and solutions for IoT based smart warehouse monitoring system. In: *International Conference New Technologies, Development and Applications*, Springer, Cham June, pp. 630–637.
- Custodio, L., & Machado, R. (2020). Flexible automated warehouse: A literature review and an innovative framework. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 106(1), 533-558. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04588-z>
- Dadzie, K. Q., & Johnston, W. J. 1991. Innovative automation technology in corporate warehousing logistics. *Journal of Business Logistics*, 12(1): 63-82.
- D’Andrea, R. (2021). Human–Robot Collaboration: The Future of Smart Warehousing. In C. Wurst & L. Graf (Red.), *Disrupting Logistics: Startups, Technologies, and Investors Building Future Supply Chains* (pp. 149-162). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61093-7_12
- de Koster, R. (M.) B. M., Le-Duc, T., & Yugang, Y. (2008). Optimal storage rack design for a 3-dimensional compact AS/RS. *International Journal of Production Research*, 46(6), 1495-1514. <https://doi.org/10.1080/00207540600957795>
- De Koster, R.; Le Duc, T.; Zaerpour, N. Determining the number of zones in a pick-and-sort order-picking system. *Int. J. Prod. Res.* 2012, 50, 757–771.
- 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 (2007), pp. 481 – 501.
- Deng, M., Mao, J., & Gan, X. (2018). Development of Automated Warehouse Management System. *MATEC Web of Conferences*, 232, 03051. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823203051>
- Demidova, P. (2021). *Analysis of the level of market penetration of terminal operating system at port container terminals in Spain* [Proyecto/Trabajo fin de carrera/grado, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/165039>
- De Ryck, M., Versteijhe, M., & Debruwre, F. (2020). Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques. *Journal of Manufacturing Systems*, 54, 152-173. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.12.002>
- de Vries, J., de Koster, R., & Stam, D. (2016). Exploring the role of picker personality in predicting picking performance with pick by voice, pick to light and RF-terminal picking. *International*

- Journal of Production Research*, 54(8), 2260-2274.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1064184>
- De Vries, J. R. de Koster, D. Stam (2016), Aligning order picking methods, incentive systems, and regulatory focus to increase performance, *Production and Operations Management* 25(8), 1363-1376.
- Ding, W. (2013). Study of Smart Warehouse Management System Based on the IOT. In Z. Du (Red.), *Intelligence Computation and Evolutionary Computation* (pp. 203-207). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-31656-2_30
- Dotoli, M., Epicoco, N., Falagario, M., Costantino, N., & Turchiano, B. (2015). An integrated approach for warehouse analysis and optimization: A case study. *Computers in Industry*, 70, 56-69.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2014.12.004>
- Dujmešić, N., Bajor, I., & Rožić, T. (2018). Warehouse Processes Improvement by Pick by Voice Technology. *Tehnički Vjesnik*, 25(4), 1227-1233. <https://doi.org/10.17559/TV-20160829152732>
- Drissi Elbouzidi, A., Ait El Cadi, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tobon Valencia, E., & Bélanger, M.-J. (2023). The Role of AI in Warehouse Digital Twins: Literature Review. *Applied Sciences*, 13(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/app13116746>
- Ekren, B. Y., Sari, Z., & Lerher, T. (2015). Warehouse Design under Class-Based Storage Policy of Shuttle-Based Storage and Retrieval System. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1152-1154.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.239>
- Encinas, G., Adela Choque, Butron, J., Diego Gomez, & Ruiz-Ruiz, M., Fernando. (2022). Three Simulation Cases of Automated Warehouse Picking Systems: A Comparative Analysis. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 613-624. <https://doi.org/10.46254/AU01.20220171>
- Essenburg, Diane. "Door robots in 2024 miljoen extra magazijnmedewerkers nodig", 7 januari 2022.
<https://www.logistiek.nl/182482/door-robotisering-in-2024-een-miljoen-extra-magazijnmedewerkers-nodig>.
- Expert in magazijn automatisering—DataAction. (z.d.). Geraadpleegd 16 januari 2024, van https://www.dataaction.com/oplossingen/magazijn-automatisering/?gad_source=1&qclid=CjwKCAiA75itBhA6EiwAkho9ezBgjG7YQbKIDQOnA39T3F7xOit38xkwdC7U5HwN2w1e15qFQ-r-xBoCcooQAvD_BwE
- Faveto, A., Traini, E., Bruno, G., & Lombardi, F. (2021). Development of a key performance indicator framework for automated warehouse systems. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 116-121.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.013>
- Ferrari, A., Zenezini, G., Rafele, C., & Carlin, A. (2022). A Roadmap towards an Automated Warehouse Digital Twin: Current implementations and future developments. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 1899-1905. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.676>
- Garg, V., & Agrawal, R. (2020). *Transforming Management Using Artificial Intelligence Techniques*. CRC Press.
- Grosse, E. H., Glock, C. H., & Jaber, M. Y. (2013). The effect of worker learning and forgetting on storage reassignment decisions in order picking systems. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4), 653-662. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.09.013>

- 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>
- Ham, A. (2020). Drone-Based Material Transfer System in a Robotic Mobile Fulfillment Center. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 17(2), 957-965. <https://doi.org/10.1109/TASE.2019.2952523>
- Håvås, A. K. (z.d.). *Model to develop cost effective preventive maintenance program for material handling robot in intelligent warehousing system: A case study in AutoStore AS*.
- Hompel, M., & Schmidt, T. (2006). *Warehouse Management: Automation and Organisation of Warehouse and Order Picking Systems*. Springer Science & Business Media. https://www.mycollection.it/biblio/wp-content/uploads/2020/11/10_SW_Smart_Warehouse_vs_Traditional_Warehouse.pdf
- How a Warehouse Put Wall Strengthens Supply Chain Logistics | BOLD VAN*. (z.d.). Geraadpleegd 8 maart 2024, van <https://www.boldvan.com/blog/how-a-warehouse-put-wall-strengthens-supply-chain-logistics>
- info@valuechain.be, V.-. (2021, maart 5). *Succes van e-commerce is een logistieke uitdaging*. Value chain. <https://valuechain.be/artikels/succes-van-e-commerce-is-een-logistieke-uitdaging/>
- Kamali, D. A. (2019). *Smart Warehouse vs. Traditional Warehouse—Review*. 11(1).
- Kembro, J. H., Danielsson, V., & Smajli, G. (2017). Network video technology: Exploring an innovative approach to improving warehouse operations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(7), 623-645. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2017-0112>
- Le-Anh, T., & De Koster, M. B. M. (2006). A review of design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, 171(1), 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.01.036>
- Lim, M.K., Bahr, W. and Leung, S.C. (2013), "RFID in the warehouse: a literature analysis (1995-2010) of its applications, benefits, challenges and future trends", *International Journal of Production Economics*, Vol. 145 No. 1, pp. 409-430.
- Lorson, F., Fügner, A., & Hübner, A. (2023). New team mates in the warehouse: Human interactions with automated and robotized systems. *IIEE Transactions*, 55(5), 536-553. <https://doi.org/10.1080/24725854.2022.2072545>
- Manzini, R., Gamberi, M., & Regattieri, A. (2006). Design and control of an AS/RS. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(7), 766-774. <https://doi.org/10.1007/s00170-004-2427-6>
- Markt Voor Magazijnautomatisering Zal Groei In 2024 Hernemen • Log!Ville*. (2023, december 19). <https://logiville.be/markt-voor-magazijnautomatisering-zal-groei-in-2024-hernemen/>
- Martina, C., Alessandro, P., & Fabio, S. (2018). Modelling of Rail Guided Vehicles serving an automated parts-to-picker system. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1476-1481. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.295>
- Michel, R. (2022). *Warehouse/DC Operations Survey 2022: Recalibrating operations and spend*. Material Handling 24/7. Geraadpleegd 30 mei 2024, van https://www.materialhandling247.com/article/warehouse_dc_operations_survey_2022_recalibrating_operations_and_spend

- Mirzaei, M., Zaerpour, N., & de Koster, R. (2021). The impact of integrated cluster-based storage allocation on parts-to-picker warehouse performance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 146, 102207. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102207>
- Mumba, D. C. (2020). *A COMPARISON OF AUTOMATED WAREHOUSE WITH TRADITIONAL WAREHOUSE MANAGEMENT: A CASE STUDY OF DMMU IN ZAMBIA* [Thesis]. <http://192.168.1.248:8080/xmlui/handle/123456789/498>
- Min, H. (2023). Smart Warehousing as a Wave of the Future. *Logistics*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/logistics7020030>
- Moeller, K. (2011). Increasing warehouse order picking performance by sequence optimization. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 20, 177-185. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.08.023>
- Najib, I., & Ishak, F. (2021). *A STUDY ON THE EFFECTIVENESS OF AUTOMATION IN MANUFACTURING WAREHOUSES*.
Over SAT - SAT Technologies primaire oplossingen in het magazijn. (z.d.). SAT Technologies. Geraadpleegd 16 januari 2024, van <https://optimizedorderpicking.com/over-sat/>
- Petersen, C. G., & Schmenner, R. W. (1999). An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation. *Decision Science*, 30, 481-501.
- Peterson, T., Gonzalez, M. G., & Transportation, B. (z.d.). *Quantifying Warehouse Automation and Sustainability*.
Pickrobot—Mecalux.be. (z.d.). Geraadpleegd 23 mei 2024, van <https://www.mecalux.be/magazijn-automatisering/pickrobot>
- Pinto, A. R. F., Nagano, M. S., & Boz, E. (2023). A classification approach to order picking systems and policies: Integrating automation and optimization for future research. *Results in Control and Optimization*, 12, 100281. <https://doi.org/10.1016/j.rico.2023.100281>
- Poudel, D. B. (z.d.). *Coordinating Hundreds of Cooperative, Autonomous Robots in a Warehouse*.
- Poon, T.C., Choy, K.L., Chow, H.K., Lau, H.C., Chan, F.T. and Ho, K.C. (2009), "A RFID case-based logistics resource management system for managing order-picking operations in warehouses", *Expert Systems with Applications*, Vol. 36 No. 4, pp. 8277-8301.
- Pugliese, G., Chou, X., Loske, D., Klumpp, M., & Montemanni, R. (2022). AMR-Assisted Order Picking: Models for Picker-to-Parts Systems in a Two-Blocks Warehouse. *Algorithms*, 15(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/a15110413>
- Richards, G. (2017), *Warehouse management: a complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse*, 3rd Edition.
- Risch, J. (2023, mei 21). De toekomst van e-commerce: Belangrijkste trends en technologieën om in de gaten te houden in 2023 - De toekomst van e-commerce Woosa. *Woosa*. <https://www.woosa.com/nl/the-future-of-e-commerce/>
- Roth, H. P., & Sims, L. T. 1991. Costing for Warehousing and Distribution. *Management Accounting*(August): 42-45. Schwarzbach, H. R. 1985. The Impact of Automation on Accounting for Indirect Costs. *Management Accounting*, 67(6): 45-50.
- Roy, D., Nigam, S., de Koster, R., Adan, I., & Resing, J. (2019). Robot-storage zone assignment strategies in mobile fulfillment systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 122, 119-142. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.11.005>

- Roy, D., et al., 2019. Robot-storage zone assignment strategies in mobile fulfillment systems. *Transp. Res. Part E: Logist. Transp. Rev.* 122 (2019), 119-142. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.11.005>.
- Sambasivarao, K. V., & Deshmukh, S. G. (1995). Selection and implementation of advanced manufacturing technologies: classification and literature review of issues. *International journal of operations & production management*, 15(10), 43-62.
- Scholz, A., Schubert, D., & Wäscher, G. (2017). Order picking with multiple pickers and due dates – Simultaneous solution of Order Batching, Batch Assignment and Sequencing, and Picker Routing Problems. *European Journal of Operational Research*, 263(2), 461-478. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.038>
- ServiceNow. 'Wat is automatisering?' Geraadpleegd 21 november 2023. <https://www.servicenow.com/nl/now-platform/what-is-automation.html>.
- Staff, T. S. (2014, december 16). *Put Systems: How a Put System in Your Distribution and Fulfillment Operations Can Overcome Key Challenges*. Tompkins Solutions. <https://tompkinsinc.com/insight/white-papers/put-systems-how-a-put-system-in-your-distribution-and-fulfillment-operations-can-overcome-key-challenges/>
- Statista. 'Warehouse Automation Market Size 2023'. Geraadpleegd 21 november 2023. <https://www.statista.com/statistics/1094202/global-warehouse-automation-market-size/>.
- Swartz, G. (1998). Warehouse safety: A comprehensive review. *Professional Safety*, 43(7), 20-25.
- Tao, F., Xiao, B., Qi, Q., Cheng, J., & Ji, P. (2022). Digital twin modeling. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 372-389. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.06.015>
- Trost, P., Kartnig, G., & Eder, M. (2022). *Simulation study of Autostore-systems*. <https://doi.org/10.34726/3044>
- Tubis, A. A., Ryczyński, J., & Żurek, A. (2021). Risk Assessment for the Use of Drones in Warehouse Operations in the First Phase of Introducing the Service to the Market. *Sensors*, 21(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/s21206713>
- Varghese, J., & Saju, S. (2021). *Challenges while moving towards Warehouse Automation*. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:hj:diva-55043>
- Vijayakumar, V., & Sgarbossa, F. (2021). A literature review on the level of automation in picker-to-parts order picking system: Research opportunities. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 438-443. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.050>
- Wawrla, L., Maghazei, O., & Netland, D. T. (z.d.). *Applications of drones in warehouse operations*.
- Xiang, J., Wang, L., Li, L., Lai, K.-H., & Cai, W. (2023). Classification-design-optimization integrated picking robots: A review. *Journal of Intelligent Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02201-5>
- Yan, B., Chen, Y., & Meng, X. (2008). RFID Technology Applied in Warehouse Management System. *2008 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management*, 3, 363-367. <https://doi.org/10.1109/CCCM.2008.372>
- Zhang, Q., Vonderembse, M.A. and Lim, J. (2002), "Value chain flexibility: a dichotomy of capability", *International Journal of Production*, Vol. 40 No. 3, pp. 561-83.
- Zhen, L., & Li, H. (2022). A literature review of smart warehouse operations management. *Frontiers of Engineering Management*, 9(1), 31-55. <https://doi.org/10.1007/s42524-021-0178-9>

Zuchowski, W. (2022). The Smart Warehouse Trend: Actual Level of Technology Availability. *LOGFORUM*, 18(2), 227-235. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2021.702>