



Logistiek algemeen

Onderzoek naar data- gedreven pallet slotting

Afstudeeronderzoek – BSc
Logistics Management 2025

Ties Duschek
Hogeschool Rotterdam

Samenvatting

Binnen het logistieke werkveld groeit het bewustzijn dat data mogelijkheden biedt bij procesoptimalisatie en besluitvorming. Waar de meeste beslissingen in het verleden vooral werden genomen op basis van gevoel en ervaring, leidt deze nieuwe data-gedreven visie tot een andere kijk naar processen en systemen. Deze trend doet zich ook voor binnen Neele-Vat, een grote logistieke dienstverlener gevestigd in Rotterdam. Door middel van de beschikbare operationele data uit interne systemen is er onderzoek gedaan naar mogelijke inefficiënties van processen binnen de onderzoekslocatie, iets wat heeft geleid tot het vaststellen van een tot op heden onbekend knelpunt binnen de organisatie: een inefficiënte manier van palletslotting.

Begrippenlijst

ADR	Goederen welke wegens hun eigenschappen vallen onder het ADR-verdrag. Deze gevaarlijke goederen zijn onderhevig aan strenge wet- en regelgeving omtrent verpakkingsvorm, manier van vervoeren en opslag. Ook hebben deze goederen speciale documentatie en etikettering nodig (United Nations, 2024).
Combi	Intern transportmiddel gemaakt om op hogere niveaus pallets de stelling te zetten of uit te halen. Een Combi kan tijdens een horizontale beweging ook een verticale beweging maken. Wegens de hoge mate van wendbaarheid is het mogelijk om dit voertuig in te zetten binnen smalle stellingen (evofenedex, Z.D.).
Digital Twin	Computersysteem welke een virtuele representatie geeft van een fysiek systeem of proces. Een digital twin maakt het mogelijk om een digitale replica te hebben welke hetzelfde reageert als een fysiek systeem. Dit maakt het mogelijk om simulaties te maken van aanpassingen zonder de kosten en werkzaamheden van fysieke aanpassingen in het warehouse te dragen (Bélanger, 2022).
EPT	Elektronisch pallet voertuig welke wordt gebruikt om pallets intern te transporteren en vrachtwagens te laden en lossen (Esmeijer, 2010).
SKU	"Een SKU (Stock Keeping Unit) is een verhandelbare eenheid (bijvoorbeeld een doos of pallet) die door afnemers in de keten besteld kan worden. De SKU is uniek identificeerbaar, bijvoorbeeld door een barcode. Een SKU kan meerdere consumenteneenheden bevatten (ECR, 2014).
Slotting	Het bepalen van optimale opslaglocaties van goederen binnen een warehouse. De manier van slotting is van belang voor het efficiënt gebruik van ruimte en middelen bij het in opslag brengen en uit opslag halen van SKU (Mecalux, 2022).
WMS	Warehouse Management Systeem, een softwaresysteem welke helpt bij het beheren en controleren van magazijnactiviteiten, vanaf het moment dat goederen en materialen een warehouse binnenkomen tot het moment dat deze vertrekken (SAP, Z.D.).

Aan de hand van operationele data uit het WMS in combinatie met observaties, interviews en metingen is dit knelpunt verder onderzocht om zo te kijken naar de mogelijkheid om de huidige manier van slotting in kaart te brengen, te analyseren en zo advies te geven voor een efficiëntere indeling van de voorraadlocaties met als doel om de tijd en kosten voor het wegzetten en uithalen van pallets binnen de onderzoekslocatie te reduceren.

Het analyseren van verschillende methodes van slotting aan de hand van een voor dit onderzoek opgezette simulatiemodel heeft het mogelijk gemaakt om verschillende scenario's uit te werken en te vergelijken met de huidige situatie. Hierbij is rekening gehouden met operationele randvoorwaarden en restricties binnen de interne systemen zodat er niet enkel een theoretisch concept is opgesteld maar een praktisch toepasbare oplossing kon worden aanbevolen.

Dit onderzoek heeft hiermee inzichten gegeven in een praktisch toepasbare data-gedreven manier van palletslotting welke het mogelijk maakt om een reductie van 33,1% in tijd voor het wegzetten en uithalen van pallets ten opzichte van de huidige werkwijze te behalen. Deze besparing komt neer op een jaarlijkse reductie in kosten van tussen de €75.000 en €85.000 voor de locatie van het onderzoek. Daarnaast heeft het inzicht gegeven in de mogelijkheden welke dat gedreven werken binnen een operationele warehouseomgeving bieden om onbekende knelpunten te identificeren en oplossingen vorm te geven.

Inleiding

Het domein

Het onderzoek naar een nieuw systeem van slotting voor Neele-Vat valt binnen het logistieke domein "distributie". De definitie van dit domein is als volgt: "Distributie is een onderdeel van logistiek en focust specifiek op de activiteiten die zich richten op het beschikbaar stellen van goederen aan klanten, zoals opslag, het beheer van voorraad en het transport naar de klant." (Fortus, Z.D.).

Binnen dit domein doen zich verschillende trends voor welke de komende jaren een steeds belangrijkere rol zullen gaan spelen. Allereerst zal data een steeds centralere rol gaan spelen in het aansturen van processen en de besluitvorming hierover (HSO, Z.D.). Ook zal er steeds meer focus liggen op het duurzaam inrichten van de keten en netwerken (Weitnauer, 2025). Een negatieve trend welke ook aandacht vereist is het tekort aan geschoolde werknemers voor het uitvoeren van de werkzaamheden. Automatisering en slimmer werken bieden uitkomsten om problemen door dit toenemende tekort het hoofd te bieden (Argano, 2024). Deze technologische

ontwikkelingen zullen de komende jaren een bepalende rol binnen het domein distributie gaan spelen.

Bestaande benadering binnen slottingsstrategieën

Slotting is een veelgebruikte methode binnen warehouse management om goederen efficiënt in te delen binnen de beschikbare opslagcapaciteit om zo interne transportbewegingen en handling te reduceren. Opslagkeuzes hebben directe invloed op magazijnprestaties doordat interne bewegingen een groot deel van de operationele kosten binnen een warehouse bepalen (Bartholdi & Hackman, 2019). Een veelgebruikte methode is het doen van slotting op basis van productclassificaties, ABC slotting is hier een voorbeeld van. Binnen de ABC worden producten ingedeeld op basis van karakteristieken zoals omloopsnelheid of pickfrequentie, waarbij A-producten op de meest toegankelijke locaties worden opgeslagen (Bartholdi & Hackman, 2019). Onderzoek laat daarnaast zien dat ook de optimale zone-indeling binnen een methode als ABC invloed heeft op de prestaties (Silva, 2021)

Door toenemende dynamiek binnen distributiecentra is een statistische slottingindeling niet meer toereikend (Richards, 2022). Digitalisering en realtime data uit WMS-systemen creëren kansen voor een data-gedreven manier van slotting. Recente studies wijzen ook op het belang van correlated based slotting, hierbij worden producten met een uitslagcorrelatie dichter bij elkaar geplaatst om bewegingen en handling zo nog verder terug te brengen (Islam & Uddin, 2024).

Noodzaak onderzoek data-gedreven palletslotting

Hoewel slottingstrategieën breed worden toegepast, blijven er beperkingen bestaan in het uitgevoerde onderzoek en de praktijk. Veel bestaande methoden zijn gebaseerd op een statistische manier van classificeren, en gaan uit van een relatief stabiel vraagpatroon. Doordat orderstromen steeds dynamischer worden door een grotere variatie, kortere levertijden en hogere complexiteit kunnen traditionele methodes van slotting sneller verouderd raken. Tegelijkertijd genereren moderne WMS-systemen steeds meer en gedetailleerde data. Deze data over palletbewegingen, scanhandelingen en opslag is enorm waardevol, echter wordt deze data nog beperkt ingezet binnen de praktijk.

Met deze waardevolle data is het mogelijk om tot op heden onbekende correlaties en patronen zichtbaar te maken, zo ook binnen het vraagstuk van palletslotting. De combinatie van onderzoek naar alternatieve methodes van slotting en een directe toepassing in de praktijk is echter nog schaars. Deze schaarste vormt de basis voor dit onderzoek, welke zich richt op het evalueren van data-gedreven methodes van palletslotting om zo palletbewegingen te reduceren en zo een algemeen efficiënter magazijnproces in te richten.

Positionering van het onderzoek

Dit onderzoek richt zich op de ontwikkeling en evaluatie van data-gedreven methodes voor palletslotting binnen een operationeel warehouse. Door gebruik te maken van historische scan- en locatiedata vanuit het WMS wordt er onderzocht in hoeverre alternatieve strategieën van slotting kunnen bijdragen aan het reduceren van palletbewegingen en het reduceren van de gemiddelde verwerkingstijd per pallet.

In tegenstelling tot traditionele manieren van slotting, welke gebaseerd zijn op gevoel of op een statische ABC-indeling, sluit deze studie aan bij inzichten over de mogelijkheden voor een correlatie-gebaseerde manier van opslag (Islam & Uddin, 2024). Binnen deze methodieken wordt er specifiek aandacht besteed aan een alternatieve manier van slotting op basis van gecorreleerde eigenschappen van producten, batches, substituten of andere randvoorwaarden in combinatie met “optimale locaties”.

De bijdrage van dit onderzoek ligt in het combineren van operationele data met simulaties van alternatieve methodieken binnen een praktische omgeving met als doel om een goed onderbouwde besluitvorming met betrekking tot magazijnindeling en opslagbeleid te realiseren.

Afbakening onderzoek

Voor dit onderzoek is een duidelijke afbakening gehanteerd. De analyse richt zich op gepalletiseerde goederen binnen een specifieke hal binnen de onderzoekslocatie. ADR en pharma producten zijn buiten beschouwing gelaten wegens de karakteristieken en scheidingsvoorschriften van deze goederen.

Onderzoeksopzet

Huidige situatie

Om inzicht te krijgen in het huidige opslag en slottingproces is er een nulmeting uitgevoerd. Hierbij is er gebruikgemaakt van het Integraal Logistiek Concept (Visser & van Goor, 2019) en de PQRST-sleutel (Visser & van Goor, 2019) welke zijn aangevuld met een stakeholderanalyse (Janse, 2024).

Figuur 1 Heatmap bewegingen 2024

Uitslag																							
Secctie	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
18	73	31	247	192	161	211	186	195	153	161	148	152	131	73	47	107	78	68	131				
17	143	27	325	312	263	341	311	330	246	246	213	221	178	116	138	166	129	77	42				
16	132	65	305	287	309	322	284	277	254	230	229	225	166	96	140	158	131	101	37				
15	110	63	308	296	304	302	318	272	267	228	228	194	192	117	140	153	149	118	35				
14	130	86	330	298	317	307	314	295	289	216	200	224	178	103	145	168	146	129	46				
13	175	76	331	309	289	334	280	320	308	217	198	205	186	141	160	168	152	136	57				
12	157	106	330	327	292	293	223	270	287	216	231	225	194	168	168	195	180	133	68				
11	147	112	322	305	298	338	287	287	278	225	223	232	196	160	170	173	190	123	88				
10	143	110	364	272	317	323	308	318	282	213	225	241	191	164	187	135	206	127	99				
9	157	122	376	324	270	318	304	308	272	201	224	206	204	189	192	160	191	145	78				
8	134	132	377	289	317	317	273	303	308	175	234	216	199	168	189	171	197	176	90				
7	145	142	338	328	299	329	320	310	269	184	216	231	208	169	179	199	194	170	91				
6	146	184	341	284	320	352	270	312	267	217	195	224	208	202	155	188	197	148	66				
5	140	196	346	280	319	279	303	300	286	203	194	233	219	226	192	185	221	151	46				
4	134	213	374	296	292	314	304	306	311	202	208	238	207	216	198	191	193	159	42				
3	156	265	339	313	278	297	254	262	240	184	204	162	166	214	198	192	178	195	69				
2	161	262	362	341	305	336	242	247	289	190	215	211	215	198	209	177	200	182	41				
1	164	276	411	416	371	324	293	341	327	256	218	256	243	229	224	205	228	212	39				

Na een analyse van de WMS-data voor het jaar 2024 is vastgesteld dat er binnen de afbakening van dit onderzoek tussen de 125.000 en 170.000 palletbewegingen hebben plaatsgevonden verdeeld over inslag (45,9%), uitslag (46,5%), Replenishment (0,8%) en handmatige moves buiten het WMS om (6,9%). Om een beter beeld te krijgen in de verdeling van deze bewegingen binnen de locatie is er een heatmap opgesteld (zie Tabel 1). De heatmap vormt een plattegrond van de stellingen gezien van bovenaf, hoe roder de kleur hoe meer bewegingen zich op dit deel van de locatie hebben voorgedaan. Een duidelijke concentratie van bewegingen in paden 7 tot en met 13 (51,23%) is zichtbaar. Buiten deze stellingen is het aantal bewegingen aanzienlijk lager en relatief gelijkmatig verdeeld. Navraag bij stakeholders binnen de organisatie wijst uit dat de bewegingen niet het resultaat zijn van een bewuste indeling van de manier van slotting, maar het gevolg is van de WMS-instellingen van automatisch plaatsing. De goederen kunnen met deze instellingen op basis van een aantal restricties (gewicht, hoogte, productsoort) vrij worden geplaatst. (Telefonische communicatie, Product Owner WMS, 20-03-2025).

Voor het bepalen van de tijden voor het uitvoeren van de processtappen binnen de huidige situatie is er gebruikgemaakt van de scandata uit het WMS. Deze data bevat de tijd tussen scanhandelingen bij het verwerken van inkomende en uitgaande orders. De ruwe dataset is vooraf opgeschoond aan de hand van datacleansing (Osborne, 2013) om uitschieters en niet proces gerelateerde onzuiverheden te voorkomen. Bij dit

proces van datacleansing is een zorgvuldige afwegingen gemaakt welke uitschieters verwijderd konden worden om te voorkomen dat waardevolle informatie wordt uitgesloten. Op basis van gesprekken met medewerkers (Persoonlijke communicatie, Operations manager, 09-04-2025), bleek dat een groot deel van de uitschieters wordt veroorzaakt door systeemfouten zoals het tijdelijk parkeren van orders, pauzes en het incorrect afsluiten van orders. De oorzaken weerspiegelen geen directe inefficiënties binnen het proces en zijn om deze reden buiten beschouwing gelaten.

Het verwijderen van uitschieters zal worden gedaan aan de hand van de Z-score. De Z-score representeert het nummer van standaarddeviaties tussen de data punten (tidystat, 2025). Aan de hand van deze maatstaf is het mogelijk om grote uitschieters binnen een dataset eruit te filteren, om zo deze verder te analyseren. De volgende formule is gebruikt (tidystat, 2025):

Waarbij: X = Individueel datapunt

μ = Mediaan

σ = Standaarddeviatie

Tabel 2 Gemiddelde tijden nulmeting

Tijdmeting handscanners (mm:ss)	Tijdmeting historisch onderzoek (mm:ss)
02:33	02:24

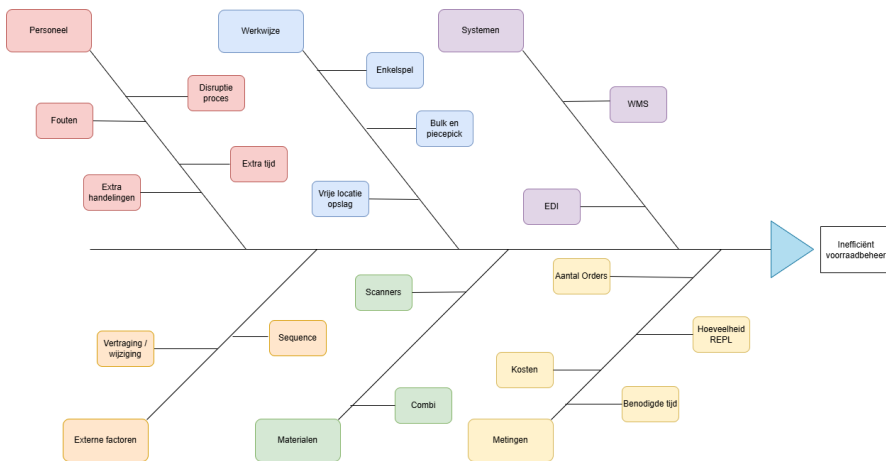
De berekening van de Z-score biedt een belangrijke richtlijn voor het detecteren van extreme scores. Over het algemeen wordt een Z-score van groter dan 3 of kleiner dan -3 aangehouden binnen de literatuur als richtlijn voor extreme scores (Osborne, 2013). Naast de data uit de handscanners is er in het verleden binnen de organisatie een onderzoek gedaan naar automatisering van warehouseprocessen. Als onderdeel van dit onderzoek zijn er verschillende tijdmetingen gedaan welke nuttig zijn voor het vaststellen van de tijd voor het uitvoeren van het wegzetten en uithalen van de pallets.

In vergelijking met de tijd welke is vastgesteld met de data uit de handscanners verschillen beide tijden ongeveer 9 seconden van elkaar. Doordat de tijden relatief goed overeenkomen, kan er met enige zekerheid worden gesteld dat de 02:33 per weggezette of uitgehaalde pallet een betrouwbare nulmeting weergeeft.

Knelpunten identificeren

Na het in kaart brengen van de huidige situatie kan er gekeken worden naar een verdere analyse van het proces om zo knelpunten of “constraints” te identificeren. Het model wat hiervoor centraal zal staan is de Ishikawa diagram (Paredes, 2024). Dit model ook vaak “Oorzaak- gevolgdiagram” genoemd kan helpen bij een goede weergave van de problemen en veroorzakers van deze problemen binnen het proces wat het analyseren van complexe problemen mogelijk maakt.

Voor de onderdelen van het Ishikawa diagram is er gekozen voor: Personeel, Werkwijze, Systemen, Externe factoren, Materialen en Metingen. Aan de hand van metingen, observaties en interviews met stakeholders zijn voor elk van de zes onderdelen verschillende knelpunten in kaart gebracht. Met deze diagram zullen verschillend knelpunten worden geanalyseerd (zie Figuur 2).



Figuur 2 Ishikawa Diagram

Methode van slotting

Op dit moment worden pallets opgeslagen aan de hand van een vrije locatie indeling waarbij het WMS automatisch plaatsing toepast. Deze plaatsing gebeurt op basis van variabelen zoals gewicht, regelgeving en producttype. In de heatmap (zie Figuur 2) is het gevolg van deze methode goed te zien.

(Esmeijer, 2010) heeft onderzoek gedaan naar wat gezien kan worden als “optimaal” binnen het concept van palletslotting. Een van de punten welke wordt genoemd zijn de karakteristieken van een combitruck welke gebruikt wordt binnen de onderzoekslocatie. Een combi kan anders dan een reachtruck de heffende beweging inzetten tijdens het rijden wat zorgt voor tijdsbesparing. Ondanks dat de hefbeweging tijdens het rijden kan worden ingezet is de snelheid op hogere stellinghoogtes beperkt. Er wordt hier gerekend met een 7:1 verhouding waarbij de combi zeven keer sneller horizontaal kan bewegen dan verticaal. Aan de hand van deze beperkingen is de spelduurberekening opgesteld (Esmeijer, 2010). Deze methode helpt bij het berekenen van de tijd die nodig is voor het mogelijk maken van een spelduurbehandeling (pallet wegzetten of uithalen). Aan de hand van verschillende spelduurelementen (onder andere: pallet van stellingkop halen, vertragingstijd acceleratie en de-acceleratie en de hef/daaltijd) is een enkelspeloverzicht opgesteld (zie Figuur 3).

Figuur 3 Spelduurberekening (Esmeijer, 2010)

Tijd in seconden

Hoogte		Tijd in seconden																	
14	7	127,2	132,9	136,7	139,6	142,4	145,3	148,1	151,9	154,8	157,7	160,5	163,4	167,2	170,0	172,9	175,7	178,6	182,4
12	6	116,1	121,8	125,6	128,4	131,3	134,2	137,0	140,8	143,7	146,5	149,4	152,3	156,1	158,9	161,8	164,6	167,5	171,3
10	5	105,0	110,7	114,5	117,3	120,2	123,1	125,9	129,7	132,6	135,4	138,3	141,1	145,0	147,8	150,7	153,5	156,4	160,2
8	4	93,8	99,6	103,4	106,2	109,1	111,9	114,8	118,6	121,5	124,3	127,2	130,0	133,8	136,7	139,6	142,4	145,3	149,1
6	3	82,7	88,4	92,3	95,1	98,0	100,8	103,7	107,5	110,4	113,2	116,1	118,9	122,7	125,6	128,4	131,3	134,2	138,0
4	2	71,6	77,3	81,1	84,0	86,9	89,7	92,6	96,4	99,2	102,1	105,0	107,8	111,6	114,5	117,3	120,2	123,1	126,9
2	1	60,5	66,2	70,0	72,9	75,7	78,6	81,5	85,3	88,1	91,0	93,8	96,7	100,5	103,4	106,2	109,1	111,9	115,7
0	0	49,4	55,1	58,9	61,8	64,6	67,5	70,4	74,2	77,0	79,9	82,7	85,6	89,4	92,3	95,1	98,0	100,8	104,6
	Rij-afstand (meters)	0	6	10	13	16	19	22	26	29	32	35	38	42	45	48	51	54	58
	Sectie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

De heatmap voor 2024 (zie Figuur 1) geeft duidelijk weer dat het frequent voorkomt dat bewegingen voor wegzetten en uithalen moeten worden uitgevoerd op locaties welke kijkend naar de spelduurberekening niet optimaal zijn. Door het volume in combinatie met de benodigde tijd van de werkzaamheden zal dit knelpunt een primaire rol spelen binnen het onderzoek.

Oplossing & resultaten

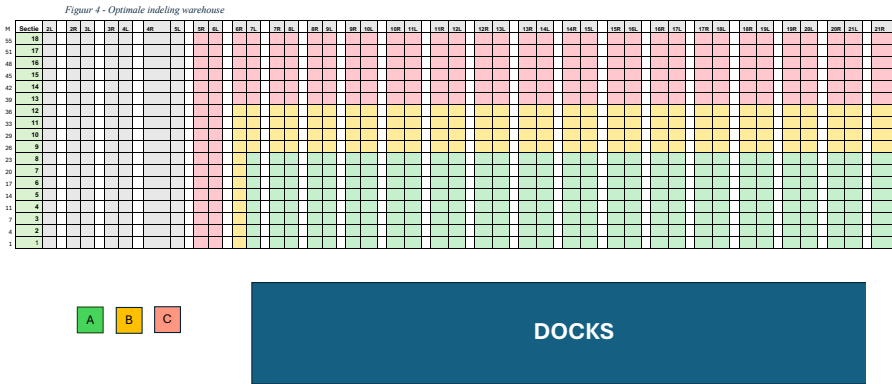
Opzet

De huidige manier van slotting vormt een van de voornaamste knelpunten in het proces van het wegzetten en uithalen van pallets. Er zal daarom gekeken worden naar de mogelijkheden om de methode van slotting te optimaliseren. Een belangrijk onderdeel hiervan is het categoriseren van de locaties binnen het warehouse.

Literatuur benadrukt dat artikelen met een hoge omloopsnelheid idealiter moeten worden opgeslagen op een “convenient location” (Bartholdi & Hackman, 2019). De benodigde tijd voor het wegzetten en uithalen van pallets is afhankelijk van de afstand tussen de locatie en het dock. Deze afstand in combinatie met de frequentie van bewegingen zijn samen verantwoordelijk voor de benodigde tijd bij het uitvoeren van werkzaamheden.

De optimale locatie kan worden gezien als de locatie met de kortste tijd (afstand + hoogte) nodig voor het uithalen en wegzetten van een pallet. Het aanpassen van een warehouse is een mogelijkheid om meer optimale locaties te creëren. Echter biedt dit over het algemeen geen realistische uitkomst door de tijd, geld en middelen welke nodig zijn om dit te realiseren. Wel kan er gekeken worden naar de frequentie waarop bepaalde locaties worden gebruikt (Bartholdi & Hackman, 2019). Door pallets goed doordacht op te slaan is het mogelijk om te garanderen dat de locaties met de meeste bewegingen de meest optimale locaties betreffen.

Aan de hand van de enkelspelmethode van (Esmeijer, 2010) is het mogelijk om op een relatief betrouwbare manier inzicht te krijgen in de optimale locaties. Aansluitend op de theorie van (Esmeijer, 2010) is het ook belangrijk om rekening te houden met de fysieke eigenschappen van het warehouse, zoals waar de docks zich bevinden. Aan de hand van de theorie van (Esmeijer, 2010) en (Bartholdi & Hackman, 2019) is er voor de indeling van optimale locaties is er gekozen voor de “nearest sub-aisle” lay-out (Silva, 2021). Deze lay-out (zie Figuur 4) biedt voordelen voor een duidelijk overzicht en het doorvoeren van wijzigingen binnen het WMS.



Figuur 4 Nearest sub-aisle lay-out onderzoekslocatie.

Simulatiemodel

Om de impact van de verschillende scenario's in kaart te brengen en deze met elkaar te kunnen vergelijken is er een simulatiemodel opgesteld. Het concept “digital twin” heeft hier inspiratie voor gegeven. Een digital twin is een digitale replica welke hetzelfde reageert als het fysieke systeem of proces (Bélanger, 2022). Dit biedt een veilige omgeving om aanpassingen en simulaties te doen zonder directe aanpassingen binnen de fysieke omgeving te hoeven doen. Het ontbreken van een digital twin binnen het WMS en doordat het onderzoekstermijn te kort was om een soortgelijk systeem op te zetten is er gekeken naar de beschikbare systemen om een soortgelijk model te gebruiken. Excel en PowerBI zijn hier uiteindelijk voor gekozen wegens de flexibiliteit en vele functionaliteiten.

Voor de simulatie zijn alle uitgaande orders tussen 01-01-2025 tot en met 30-04-2025 voor de producten binnen de afbakening meegenomen. Dit komt neer op +/- 20.000 palletbewegingen wat het mogelijk maakt om een betrouwbare simulatie te draaien en zo de impact in kaart te brengen.

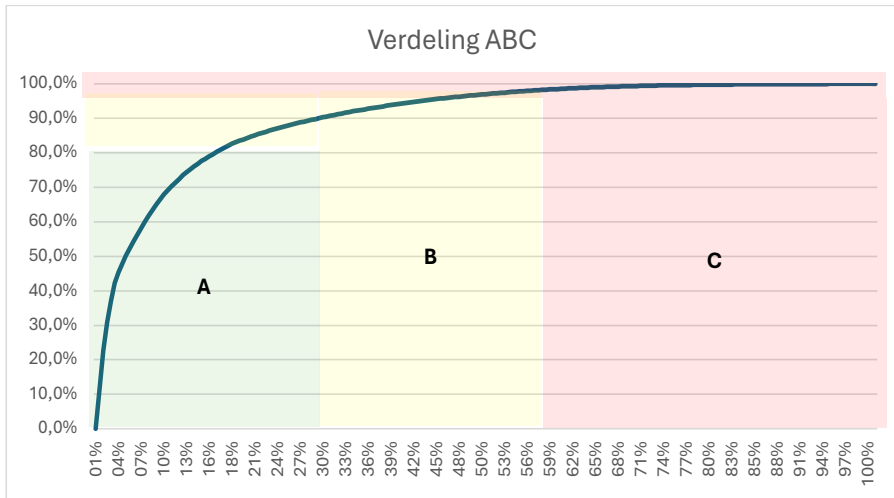
Scenario 1: ABC classificatie

Het eerste scenario welke is uitgewerkt is een slotting op basis van de ABC methode. Binnen veel organisaties is het nummer van SKU's van een dusdanige hoogte dat het implementeren van individuele maatregelen omtrent het houden van voorraad voor elke individuele SKU een activiteit betreft welke te tijdrovend zal zijn dat dit onrealistisch wordt geacht. De ABC methode biedt in dit geval handvaten voor het

classificeren van items aan de hand van producteigenschappen zoals de waarde en/of afzetfrequentie (zie Tabel 3 & Figuur 5). Dit biedt een realistische en betrouwbare werkwijze voor het toewijzen van locaties aan SKU's (Keemers, 2022).

Tabel 3 Vuistregel ABC methode

Categorie	A	B	C
Aantal producten	20%	30%	50%
Volume	80%	15%	5%



Figuur 5 BC verdeling producten SCOPE

In zijn algemeenheid stelt de ABC methodiek dat een gering percentage SKU zorgt voor een dominant aandeel binnen het totale volume of waarde van verkopen binnen een bedrijf. De vuistregel 80/20 wordt hierbij gehanteerd (80% van de waarde/volume wordt veroorzaakt door 20% van de SKU) (Keemers, 2022), (Teunter & al, 2010). Deze verschillende classificaties helpen bij het verdelen van de beschikbare tijd en middelen voor het toewijzen van locaties. Binnen dit onderzoek is er gekeken naar een ABC analyse op basis van afzetfrequentie. Aan de hand van de uitslagorders is er voor elk individueel SKU-nummer gekeken naar het aantal uitslagen. Ook is er

gekeken naar het procentuele aandeel van dit product in het totaal aantal uitslagen van de tijdperiode. Met dit percentage is het mogelijk om een ABC verdeling te maken op basis van de vuistregel uit Tabel 3.

Na het classificeren van de producten aan de hand van de ABC methode is het simulatiemodel binnen Excel opgesteld. Dit simulatiemodel kijkt in de kern naar een ding: *komt de locatie waar het product is opgeslagen overeen met de ABC categorie van het product?*

Om een situatie waar er gebruik wordt gemaakt van een ABC methode te simuleren is er gebruik gemaakt van de volgende Excel functie:

```
= INDEX(FILTER(Tabel4{Nummer};Tabel4[ABC]=[@ABC]); ASELECTUSSEN(1; AANTALARG(FILTER(Tabel4{Nummer};Tabel4[ABC]=[@ABC])))
```

In de basis wijst deze functie een nieuwe locatie toe aan de producten op basis van de ABC voorwaarden. De functie houdt enkel rekening met het plaatsen op basis van ABC, niet naar andere voorwaarden zoals het bij elkaar houden van productiebatches of productgroepen zoals ook in de praktijk bij een basis ABC het geval is. Na het doen van de simulatie en het toewijzen van de alternatieve locaties is er gekeken naar de tijd welke het kost om pallets weg te zetten of uit te halen van en naar deze locaties, dit is gedaan op basis van de enkelspelmethode (Esmeijer, 2010). Ook is er met een steekproef van 31 tijdmetingen op verschillende dagen en tijden vastgesteld dat een padwissel gemiddeld 47 seconde duurt, dit is ook meegenomen in de berekening. De resultaten van de simulatie is in Figuur 6 weergegeven.

Met deze simulatie is het mogelijk om een alternatief scenario te schetsen binnen de onderzoekslocatie om zo te zien wat de effecten van een ABC zullen zijn voor de manier van plaatsing (heatmap) en de tijd van de onderzochte werkzaamheden binnen deze alternatieve werkwijze.

ABC simulatie																							
Rijlabels	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
18	3	8	10	9	12	14	10	13	12	18	11	17	13	12	15	19	18	14	6				
17	6	17	23	20	15	16	16	6	15	11	9	9	5	11	14	14	12	13	9				
16	7	15	14	11	20	16	7	12	17	11	8	19	5	12	14	10	16	13	2				
15	5	18	21	19	13	16	16	9	13	9	12	13	12	12	9	13	12	18	5				
14	8	11	11	12	15	12	12	17	12	18	9	12	20	6	10	12	20	14	13				
13	6	14	13	10	10	30	9	16	15	11	12	13	7	9	8	15	14	6	7				
12	4	20	15	16	11	17	12	22	15	11	18	17	14	13	10	15	11	14	7				
11	5	22	28	18	19	15	18	18	23	15	15	15	17	21	14	13	23	25	4				
10	7	15	17	19	16	28	14	30	20	17	15	5	14	20	21	18	10	24	7				
9	4	21	9	18	19	18	20	14	8	15	26	15	13	16	10	15	17	11	8				
8	9	19	21	20	15	21	27	17	22	21	14	17	24	20	15	19	18	17	7				
7	9	11	164	162	165	153	164	158	157	169	190	154	155	139	151	171	149	188	76				
6	5	21	158	151	175	151	154	151	172	153	157	152	134	152	182	168	188	149	84				
5	7	16	155	175	177	164	156	150	172	167	161	162	151	148	179	162	183	153	57				
4	8	18	191	158	180	162	169	144	152	149	171	200	151	139	153	183	148	162	63				
3	4	16	128	106	130	119	122	140	139	128	141	116	122	129	131	121	95	126	57				
2	9	14	123	115	127	137	129	123	136	122	115	115	128	105	104	125	133	125	66				
1	5	32	135	152	126	114	129	148	142	128	123	133	106	143	128	139	112	109	52				

Figuur 6 Heatmap simulatie ABC slotting

Scenario 2: CBSLA-classificatie

Het tweede scenario welke is uitgewerkt is de CBSLA-methode (Correlated, Based, Storage, Location, Assignment) (Islam & Uddin, 2024). Deze benadering bouwt voort op de principes van ABC-slotting, maar voegt een extra dimensie toe door de producten niet enkel te classificeren op basis van afzet, maar ook op correlatiekenmerken.

Het startpunt van de CBSLA-methode is het groeperen van producten op basis van correlatie binnen de afzet. Een eerste analyse heeft vastgesteld dat ongeveer 80% van de uitgaande orders uit een enkel product bestaat. Ook bevat 78% van de uitgaande orders maar een of twee productiebatches. Met deze kennis zal er gekeken worden naar de mogelijkheid om producten en batches zoveel als mogelijk bij elkaar te plaatsen, idealiter in hetzelfde pad. Ook zal er in de basis van de plaatsing gebruik worden gemaakt van de ABC analyse welke eerder is uitgevoerd.

Net als bij het scenario van de ABC methode, zal er een alternatief scenario worden opgesteld op basis van een simulatie om zo inzicht te krijgen in de gevolgen van de CBSLA-methode binnen de onderzoekslocatie. Waar de ABC-methode relatief eenvoudig te simuleren was doordat deze maar een variabele bevat (ABC categorie), is dat bij de CBSLA-methode gecompliceerder doordat er meerdere variabelen van toepassing zijn (producten, batches en ABC). Wegens deze complexiteit was Excel het meest geschikte programma, de keuze voor het programma PowerBI is hierdoor gemaakt.

De data uit het WMS is in Excel geprepareerd binnen verschillende bestanden. Aan de data van de producten is de ABC categorie toegevoegd in een kolom. Ook is een uniek batchnummer (ABC – SKU-nummer – Batch) opgesteld en toegevoegd om zo de batches te kunnen identificeren. In de data van de locaties is de ABC categorie toegevoegd. Na het inladen van de geprepareerde bestanden in PowerBI zijn de kolommen aan elkaar gekoppeld met de “merge” functie. Om ervoor te zorgen dat de producten van een batch allemaal op een unieke locatie worden geplaatst is er een willekeurig nummer met Random.Number() toegevoegd. Met deze eerdere stappen is de data zo opgesteld dat er met de simulatie begonnen kan worden. De “let” expressie is hier de basis voor geweest (Webb, 2016).

Na het uitvoeren van de berekeningen zijn nieuwe locaties toegewezen aan de producten, deze zijn in een tabel weergegeven. Na het exporteren van deze tabel zijn de nieuwe locaties in Excel verwerkt om zo een heatmap te maken (zie Figuur 7). Ook is er net als bij het ABC scenario door middel van de spelduurberekening (Esmeijer, 2010) en tijdmetingen voor de padwisselingen een overzicht met de tijden per locatie opgesteld. Dit maakt het mogelijk om de impact van deze alternatieve methode in kaart te brengen.

CBSLA simulatie																							
Rijlabels	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23				
18	8	0	1	9	19	13	44	12	2	6	12	17	18	45	6	14	8	11	9				
17	10	0	11	17	11	27	49	8	18	7	9	25	32	8	12	21	30	11	3				
16	15	4	15	22	3	26	22	13	12	9	4	6	10	13	1	13	41	6	20				
15	13	32	19	3	8	10	19	6	20	6	10	5	22	3	12	19	7	17	9				
14	1	0	10	5	12	2	28	4	27	7	19	22	23	23	23	13	10	10	23				
13	5	4	2	7	11	7	8	8	5	17	6	23	23	31	13	14	5	12	11				
12	0	21	5	14	11	7	7	5	20	7	10	7	35	11	19	8	1	12	2				
11	6	32	19	30	9	5	61	1	11	3	11	10	52	30	7	11	25	5	4				
10	3	17	15	14	18	2	30	21	10	30	0	8	66	24	5	7	18	6	34				
9	0	21	12	16	43	4	40	37	27	8	7	10	0	11	3	36	33	9	3				
8	0	9	14	33	22	11	57	45	14	10	5	0	15	29	1	1	39	9	0				
7	0	8	40	226	115	117	142	232	108	96	223	107	144	132	194	201	130	77	119				
6	5	21	48	166	93	201	120	220	152	85	193	101	138	155	152	193	113	120	108				
5	2	14	81	149	114	101	80	174	161	124	199	88	196	190	95	207	157	119	111				
4	0	5	67	209	83	228	153	152	79	128	181	196	207	164	116	182	170	113	105				
3	0	10	94	146	163	159	153	222	105	115	202	159	142	194	146	216	140	114	112				
2	2	8	72	171	145	157	159	106	163	72	198	95	169	186	186	219	112	147	114				
1	0	10	87	161	109	206	109	118	98	75	127	152	165	116	116	162	109	138	106				

Figuur 7 Heatmap simulatie CBSLA slotting

Resultaten

Na het afronden van de simulaties voor de alternatieve slottingsmethode ABC en CBSLA kan de impact visueel worden weergegeven door middel van de heatmaps. De analyse laat zien dat binnen beide scenario's de palletbewegingen verschuiven naar de voorkant van de stellingen, wat overeenkomt met de optimale A-locaties. Hoewel de scenario's veel overeenkomsten hebben, toont de CBSLA-methode op sommige paden een hogere concentratie, dit door het bij elkaar plaatsen van batches.

Door de huidige situatie te vergelijken met beide verbeteropties is de impact op de gemiddelde tijd per pallet vastgesteld. Met een 33,1% reductie in tijd heeft de CBSLA-methode de grootste besparing en wordt daarmee gezien als de beste verbetermethode. Met deze reductie van 33,1% kan er binnen de onderzoekslocatie een jaarlijkse besparing van tussen de €75.000 en €85.000 worden behaald (zie Tabel 4).

Tabel 4 Vergelijking huidige situatie en uitkomsten simulatiemodel

Methode	Gemiddeld aantal stellingen	Gemiddelde tijd	Minuten	Seconden	Verskil tov Huidige	% verschil
Huidige situatie	4	2,54	2	33	0	0,0%
ABC methode	5	2,08	2	5	-0,46	18,1%
CBSLA methode	2	1,7	1	42	-0,84	33,1%

Voorwaarden implementatie

De resultaten van de simulaties hebben vastgesteld dat de CBSLA-methode de hoogste besparing kan behalen, en wordt hiermee gezien als de "ideale" methode van slotting binnen het warehouse van Neele-Vat. Ondanks dit, is na interne communicatie met procesanalysten binnen de organisatie gebleken dat een directe implementatie niet mogelijk is. Een ABC methode is direct mogelijk en wordt ook op andere locaties gebruikt. Echter is het huidige WMS-systeem niet flexibel genoeg om een CBSLA-methode te implementeren wegens het ontbreken van een batchclassificatie. Het WMS controleert pallets per orderregel afzonderlijk en kan hierdoor geen onderscheid maken tussen batches om deze zo te clusteren. Hierdoor is directe implementatie van CBSLA op korte termijn niet haalbaar. Wel wordt er gewerkt aan een nieuw WMS-systeem, waarin het wel mogelijk is om aanpassingen te doen om een batchslottingtool te realiseren.

Omdat CBSLA nu nog niet direct implementeerbaar is, wordt een twee-stap-implementatie aanbevolen. Op kort termijn kan de ABC slotting worden ingevoerd, wat een besparing van 18,1% oplevert. Daarna kan gewerkt worden aan batchgroepering om CBSLA mogelijk te maken, wat een extra besparing van 15% kan opleveren. De totale besparing komt daarmee op 33,1% bij volledige implementatie.

Een belangrijke randvoorwaarde voor beide strategieën is de bezettingsgraad van het warehouse. Volgens (Richards, 2022) moet deze onder de 85% blijven om veiligheid en productiviteit te waarborgen. Slottingsstrategieën profiteren bovendien van flexibiliteit, wat vooral mogelijk is bij een lagere bezetting. Op dit moment wordt de bezettingsgraad van de locaties binnen Neele-Vat bijgehouden. Uit een automatische rapportage van 30 april 2025 is gebleken dat de onderzoekslocatie een bezetting van 79% heeft een gunstige waarde voor implementatie van zowel ABC en CBSLA.

Discussie

Met het opzetten van een simulatiemodel is het mogelijk geworden om een gedetailleerd beeld te krijgen van de impact welke de verschillende systemen zullen hebben. Voor de implementatie van de aanbevelingen is er veelvuldig direct contact geweest met de stakeholders om te zien wat de mogelijkheden binnen de organisatie zijn. Dit heeft geleid tot de aanbeveling van een twee-stap-implementatie om zo een maximale besparing te realiseren.

Betrouwbaarheid en validiteit zijn belangrijke onderdelen bij het doen van onderzoek. Om te zorgen dat het onderzoek betrouwbaar en valide is zijn er verschillende stappen en overwegingen gedaan om deze te waarborgen.

Betrouwbaarheid is de mate waarin de resultaten van het onderzoek consistent en reproduceerbaar zijn bij herhaalde metingen of onder vergelijkbare omstandigheden werken met objectieve data (Leen & Mertens, 2021). In dit onderzoek is er geacht de betrouwbaarheid te waarborgen door het aanhouden en uitvoeren van de volgende stappen:

- Systematisch filteren van uitschieters binnen de data.
- Gebruikt meerdere metingen en data uit een langere tijdspanne
- Gedetailleerde documentatie van het onderzoeksproces om mogelijkheid voor reproduceren en controle te creëren.
- Simulatiemodel biedt mogelijkheid om uitkomsten te reproduceren.

Validiteit is de mate waarin een onderzoek daadwerkelijk meet wat het beoogt te meten (Leen & Mertens, 2021). Binnen dit onderzoek is er geprobeerd om de validiteit te waarborgen door de volgende stappen te ondernemen:

- Vergelijken resultaten met voorgaande onderzoeken
- Gebruik van triangulatie voor verzamelde data (Leen & Mertens, 2021).
- Verschillende interviews gehouden met verschillende belanghebbenden en deze

opgenomen voor latere referentie

- Meervoudige communicatie met verschillende stakeholders met verschillende functies binnen de organisatie voor het onderzoek en aanbevelingen.

Binnen dit onderzoek zijn waardevolle inzichten en aanbevelingen opgesteld welke door Neele-Vat verschillende verbeteringen kunnen opleveren. Echter zijn er enkele beperkingen welke in overweging genomen moeten worden bij het interpreteren en toepassen van de resultaten.

Allereerst zijn er beperkingen in de betrouwbaarheid van het simulatiemodel. Door de complexiteit van de praktijk konden bepaalde randvoorwaarden, zoals het bezet zijn en vrijkomen van locaties en de impact van de bezettingsgraad niet meegenomen worden. De uitkomsten van dit model kunnen hierdoor op enkele punten afwijken van de werkelijkheid. Het overeenkomen van de uitkomsten uit het model en verschillende onderzoeken (triangulatie) biedt ondanks dit onderbouwing voor de uitkomsten.

Verder zijn er beperkingen in de validiteit. Doordat het onderzoek zich enkel heeft gericht op een deel van de onderzoekslocatie. Ondanks dat de bevindingen representatief zijn voor deze afbakening, is enige voorzichtigheid geboden bij het doorvoeren van deze aanpassingen voor andere klanten en binnen andere hallen en locaties.

Deze beperkingen laten zien dat het noodzakelijk is om voorzichtig te zijn met het implementeren van de aanbevelingen uit het onderzoek binnen andere hallen en locaties. Ook zijn er ondanks de waardevolle inzichten welke het simulatiemodel biedt ook enkele beperkingen waardoor er kritisch gekeken zal moeten worden naar het interpreteren gezien de vereenvoudigde werking vergeleken met de praktijk.

Naast de directe aanbevelingen zijn er verschillende verbeterpunten en kansen geïdentificeerd welke buiten de scope van het onderzoek vielen. De onderstaande aanbevelingen (zie Tabel 5) bieden mogelijkheden om interne processen binnen de gehele organisatie verder te verbeteren.

Tabel 5 Aanbevelingen toekomst

Aanbeveling	Reden	Toekomstpotentie
Centrale kennisdeling	Neele-Vat heeft veel locaties, echter werken deze op hun eigen manier. Een centrale manier van kennisdeling kan mogelijkheden creëren voor het benutten van schaalvoordelen.	Gebruik van een centraal systeem van kennisdeling maakt efficiëntere inzet van resources mogelijk. Verder kan dit leiden tot een betere eenheid en uniforme werkwijze binnen de organisatie.
Systeem van dubbelspel	Op dit moment wordt er gebruik gemaakt van een enkelspelsysteem voor het wegzetten en uithalen van orders. Hierdoor worden ingaande en uitgaande stromen niet gecombineerd wat ervoor zorgt dat de interne transportmiddelen 50% van de tijd zonder lading rijden	Met het CBSLA-systeem als basis zijn er mogelijkheden om het gebruik van een dubbelspelsysteem te onderzoeken. Verschillende bronnen stellen dat een reductie van 16 en 21% van dit systeem mogelijk is (Islam & Uddin, 2024). Een reductie bovenop de 33,1% van de CBSLA

Kennisgeving

Met dit onderzoek won Ties Duschek de VLM Bachelor scriptieprijs in 2025.

Referenties

- Argano. (2024, April 16). *2024 Trends in the Distribution Industry*. Opgehaald van Argano: <https://argano.com/insights/articles/2024-trends-in-the-distribution-industry.html>
- Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2019). *WAREHOUSE & DISTRIBUTION SCIENCE*. Atlanta, USA: Georgia Institute of Technology.
- Bélangier, M.-J., Pellerin, R., & Lamouri, S. (2022). A Literature Review on Digital Twins in Warehouses. *Procedia Computer Science* 219. 2023, pp. 370 - 377. Montréal: Elsevier.
- Bode, O. (2023). *Adviesrapport - Onderzoek naar de optimale indeling van de ADR-Bunker*. Pernis: Neele-Vat.
- ECR. (2014, Januari 27). *Categorie Management*. Opgehaald van ECR: <https://www.encyclo.nl/lokaal/10198>
- Esmeijer, G. W. (2010). *Handboek operationele interne logistiek*. Dodewaard: Van Gorcum.
- evofenedex. (Z.D.). *Orderverzameltruck en combi-hoogbouwtruck*. Opgehaald van evofenedex: <https://www.evofenedex.nl/kennis/magazijn/intern-transport/orderverzameltruck-en-combi-hoogbouwtruck>
- FlexSim. (Z.D.). *Warehousing Simulation*. Opgehaald van FlexSim: <https://www.flexsim.com/warehousing-simulation/>
- Fortus. (Z.D.). *Distributie*. Opgehaald van Fortus: <https://fortus.nl/kennisbank/distributie/>
- Henningan, L. (2024, June 15). *What is a KPI? Definition & Examples*. Opgehaald

- van Forbes: <https://www.forbes.com/advisor/business/what-is-a-kpi-definition-examples/>
- HSO. (Z.D.). *Top 10 Trends in Distributie*. Opgehaald van HSO: <https://www.hso.com/nl/blog/top-10-trends-in-distributie>
- Islam, S., & Uddin, K. (2024). *An efficient correlation-based storage location assignment heuristic for multi-block multi aisle warehouses*. Khulna Bangladesh: Khulna University of Engineering & Technology.
- Janse, B. (2024, Februari 6). *Stakeholderanalyse: de uitleg en template*. Opgehaald van Toolshero: <https://www.toolshero.nl/verandermanagement/stakeholderanalyse/>
- Keemers, J. (2022). *Reaching optimal levels of inventory by using the ABC inventory classification method and setting service leveles*. Twente: University of Twente.
- Leen, J., & Mertens, J. (2021). *Praktijkgericht onderzoek in bedrijf*. Bussum: Coutinho.
- Mecalux. (2022, Maart 30). *Slotting: optimalisatie van de opslaglocaties in het magazijn*. Opgehaald van Mecalux: <https://www.mecalux.nl/blog/slotting-optimalisatie-opslaglocaties>
- Osborne, J. W. (2013). *Best Practices in Data Cleaning: A Complete Guide to Everything You Need to Do Before and After Collecting Your Data*. Miami University: SAGE Publishing.
- Paredes, R. (2024, April 8). *Ishikawa Diagram: A Guide*. Opgehaald van Safetyculture: <https://safetyculture.com/topics/ishikawa-diagram/#understanding-ishikawa-diagrams>
- Richards, G. (2022). *Warehouse Managment: The Definitive Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse*. London, United Kingdom: KoganPage.
- SAP. (Z.D.). *Wat is een warehouse management system (WMS)?* Opgehaald van SAP: <https://www.sap.com/netherlands/products/scm/extended-warehouse-management/what-is-a-wms.html>
- Teunter, R. H., Babai, M., & Syntetos, A. (2010). *ABC classification*. Groningen: University of Groningen.
- tidystat. (2025, February 12). *Z-score: definition, formula, and example*. Opgehaald van tidystat: <https://tidystat.com/z-score-definition-formula-and-example/>
- United Nations. (2024). *Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road*. New York, United States of America: United Nations Publications. Opgehaald van RIVM: <https://rvs.rivm.nl/onderwerpen/gevaarsindeling/ADR>
- Visser, H. M., & van Goor, A. R. (2019). *Werken met Logistiek*. Verschenen: Noordhoff.
- Webb, C. (2016, May 22). *Understanding Let Expressions in M for PowerBI and Power Query*. Opgehaald van Chris Webb's BI Blog: <https://blog.crossjoin.co.uk/2016/05/22/understanding-let-expressions-in-m-for-power-bi-and-power-query/>
- Weitnauer. (2025, January 24). *Future Of Distribution: Trends And Innovations*. Opgehaald van Weitnauer: <https://weitnauer.com/future-of-distribution-trends-and-innovations>.