



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

Masterthesis

**Voorraadbeheer en distributie optimalisatie in een ziekenhuisomgeving:
Literatuurstudie**

Louise Robert

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management en logistiek

PROMOTOR :

dr. Lotte VERDONCK

COPROMOTOR :

dr. Lien VANBRABANT



UHASSELT

KNOWLEDGE IN ACTION

www.uhasselt.be

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

2021
2022



Faculteit Bedrijfseconomische Wetenschappen

master handelsingenieur

Masterthesis

***Voorraadbeheer en distributie optimalisatie in een ziekenhuisomgeving:
Literatuurstudie***

Louise Robert

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master handelsingenieur, afstudeerrichting operationeel management en logistiek

PROMOTOR :

dr. Lotte VERDONCK

COPROMOTOR :

dr. Lien VANBRABANT

Woord vooraf

Deze masterproef onderzoekt de optimalisatie van voorraadbeheer en interne distributie in een ziekenhuisomgeving aan de hand van een literatuurstudie. Dit onderzoek is geschreven in het kader van mijn studies als handelsingenieur, met focus op operationeel management en logistiek, aan de Universiteit Hasselt. Ziekenhuislogistiek sprak mij meteen aan als onderwerp door haar complexiteit en de beperkte aandacht ervoor. Dit onderzoek was dan ook een uitdaging voor mij, mede door de vaak schaars beschikbare literatuur over bepaalde deelonderwerpen. Toch heb ik keer op keer de moed en de motivatie hoog kunnen houden mede door de steun en bijdrage van een aantal mensen.

In het bijzonder wil ik graag mijn promotor, dr. Lotte Verdonck en mijn copromotor, dr. Lien Vanbrabant bedanken. Zij stonden steeds klaar om mijn vragen te beantwoorden. Daarnaast maakten zij vele momenten vrij om mij feedback te kunnen geven. Hierdoor kreeg ik steeds meer duidelijkheid over het onderwerp en de richting die ik best volgde. Ik heb mijn masterproef tot een goed einde kunnen brengen dankzij hun deskundige inzichten, aanbevelingen en begeleiding.

Ten slotte wil ik graag een woord van dank richten naar mijn familie en vrienden voor hun morele steun, aanmoedigingen en wijsheid. Deze vijf studiejaar aan de universiteit en het schrijven van deze masterproef is mede dankzij hen tot een goed einde gebracht.

Louise Robert

Samenvatting

Deze masterproef bespreekt de optimalisatiemogelijkheden van het voorraadbeheer en de interne distributie in een ziekenhuisomgeving aan de hand van een wetenschappelijke literatuurstudie.

Probleemstelling

Ziekenhuizen over de hele wereld staan voor de uitdaging om kosten te besparen en hun activiteiten beter te beheren. Tegelijkertijd moeten ze voldoen aan de stijgende vraag naar zorg van een groeiende bevolking. De fundamentele missie van een ziekenhuis is om patiënten gezondheidszorg te bieden. Om deze zorg kwaliteitsvol te verlenen, zijn er binnen een zorginstelling veel randactiviteiten, waaronder logistieke activiteiten, die vaak onzichtbaar zijn voor patiënten maar die een aanzienlijke impact hebben op de kwaliteit en kosten van zorg. Een omvangrijk deel van de ziekenhuiskosten wordt besteed aan logistieke activiteiten, namelijk 46% van het budget van een ziekenhuis. Optimale ziekenhuislogistiek kan een belangrijk middel zijn om kosten te besparen en ook een effectieve manier zijn om de ziekenhuisdiensten te verbeteren (Jawab & Frichi, 2018). In deze masterproef wordt de definitie voor ziekenhuislogistiek van Landry & Beaulieu (2013) gebruikt. Deze luidt: "Ziekenhuislogistiek is een geheel van ontwerp-, plannings- en uitvoeringsactiviteiten die de aankoop, het voorraadbeheer en de bevoorrading van goederen en diensten rond de verlening van medische diensten aan patiënten mogelijk maken".

Onderzoek naar logistieke efficiëntie en optimalisatie binnen ziekenhuizen, meer bepaald voorraad- en distributieprocessen, is zowel economisch (kostenreductie) als maatschappelijk (efficiëntere zorgverlening) relevant. Het doel van deze masterproef is om een overzicht te geven van optimalisatiemogelijkheden voor logistieke beslissingen met betrekking tot ziekenhuisvoorraadbeheer en -distributie. Hieruit volgt de centrale onderzoeksvraag:

Hoe kunnen bestaande distributieprocessen en voorraadprocessen in een ziekenhuis geoptimaliseerd worden?

Deze vraag zal samen met enkele deelvragen aan de hand van een literatuurstudie worden beantwoord. De masterproef is opgesplitst in drie grote hoofdstukken: de ziekenhuis supply chain, het voorraadbeheer in een ziekenhuis en de distributie binnen een ziekenhuis.

Ziekenhuis supply chain

De supply chain in een ziekenhuisomgeving bestaat uit drie grote spelers: producenten, distributeurs en ziekenhuizen. In de ziekenhuizen zelf, de interne keten, is de goederendistributie typisch ontworpen als een meervoudig voorraadbeheersysteem (L. Burns et al., 2002). Een centraal magazijn of voorraad ontvangt goederen van de distributeurs. Naast het centrale magazijn beschikt een ziekenhuis ook vaak over een centrale apotheek voor medicijnen. De centrale voorraad levert regelmatig goederen aan de opslagplaatsen in de verschillende verpleegeenheden, hier consumeren patiënten de medische benodigdheden als eindgebruikers. Daarnaast kan een levering enerzijds ook semi-direct, wanneer de distributeurs rechtstreeks aan de zorgafdeling leveren, of direct verlopen. Bij deze laatste vorm, is de distributeur verantwoordelijk om de voorraden van het ziekenhuis te beheren en op de vraag te anticiperen (Volland, Fügener, Schoenfelder, & Brunner, 2017).

Meerdere auteurs halen aan dat vooral de interne toeleveringsketen de zwakke plek is door het tekort aan logistieke en kostenefficiëntie, waardoor hierin ook de meeste verbetering mogelijk is. Daarom focust deze masterproef hoofdzakelijk op het voorraadbeheer en de interne distributie van zorgproducten binnen een ziekenhuis.

Voorraadbeheer in een ziekenhuis

Voorraadbeheer verwijst naar het beheren en controleren van een groot aantal en grote verscheidenheid aan artikelen die in een zorgsysteem worden opgeslagen. Hoewel voorraadbeheersystemen voornamelijk op kosten gebaseerd zijn, moeten ziekenhuizen zich richten op het serviceniveau van de patiënt. Een goed onderhouden inventarissysteem helpt de patiënt om zonder vertraging zorgproducten te ontvangen en voorkomt situaties waarbij kritieke problemen ontstaan die de toestand van de patiënt beïnvloeden. Enkele algemene voorraadbeheermodellen worden besproken: het economisch bestelhoeveelheid model of EOQ-model, een deterministisch periodiek herzieningsmodel, een stochastisch continu herzieningsmodel, een stochastisch één-periode herzieningsmodel voor bederfelijke producten en een stochastisch periodiek herzieningsmodel. Deze kunnen geclassificeerd worden op basis van hun type voorraadniveauperiodiek, namelijk continu of periodiek. Bij continue controle wordt een bestelling geplaatst van een vaste of variabele hoeveelheid zodra het voorraadpeil daalt tot het voorgeschreven reorder punt. Bij periodieke herziening wordt het voorraadniveau op discrete tijdstippen gecontroleerd en alleen op deze tijdstippen worden bestelbeslissingen genomen, zelfs als het voorraadniveau tussen het vorige en het huidige controlemoment onder het reorder punt daalt. De bestelhoeveelheid is hierbij ook variabel (Wray, 2012).

Deze voorraadbeheermodellen kunnen geïmplementeerd worden in een ziekenhuiscontext met behulp van voorraadbeheersystemen. Ze variëren van systemen op basis van aanvragen, ruilkarren, periodieke automatische aanvulling, het two-bin systeem, door de gebruiker gestuurde systemen, gewichtscontrolebakken tot het two-bin systeem met radio-frequency identification (RFID) ter ondersteuning voor het opvangen van de vraag (Landry & Beaulieu, 2013). Deze laatste is de meest recente toepassing maar heeft ook enkele technische belemmeringen, waaronder variërende nauwkeurigheid, nood aan voldoende sterkte van het radiofrequentiesignaal en nood aan technologische software en kennis. Deze masterproef beschrijft vijf mogelijke alternatieven om het voorraadbeheer in een ziekenhuis in de toekomst verder te optimaliseren: Vendor Managed Inventory (VMI), groepsaankooporganisaties (GPO), centralisatie van voorraadbeheer, uitbesteden van voorraadbeheer en het gebruik maken van een ERP-systeem.

Vendor Managed Inventory (VMI) kan gedefinieerd worden als "de praktijk waarbij detailhandelaren leveranciers verantwoordelijk maken voor het bepalen van de omvang en timing van bestellingen, gewoonlijk op basis van de ontvangst van de voorraadgegevens van de detailhandel" (Vitasek, 2010). De belangrijkste voordelen verkregen door VMI, in een ziekenhuisomgeving, zijn: het hebben van minder voorraad en de bijbehorende kosten, minder stock-outs, verhoging van het serviceniveau, verhoging van de omloopsnelheid van de voorraad, verbetering van de vullingsgraad en het hebben van een relatie tussen de leverancier en het ziekenhuis met concurrentievoordeel (Guimarães,

Carvalho, & Maia, 2013). Van de twee componenten van VMI (delen van informatie en besluitvorming) is het vooral het delen van informatie wat prestatievoordelen oplevert (bijvoorbeeld voorraadverminderingen, minder voorraadtekorten), eerder dan de overdracht van besluitvorming (Dong, Dresner, & Y. Yao, 2010). Naast voordelen bevat VMI ook nadelen, waaronder opportunistisch gedrag van de leverancier, afhankelijkheid van de partner en overschakelingskosten (Guimarães et al., 2013).

Een tweede mogelijkheid om de efficiëntie van voorraadbeheer bij ziekenhuizen te verhogen is door middel van groepsaankooporganisaties (GPO). Coöperatieve inkoop is de horizontale samenwerking tussen twee of meer organisaties in één of meer stappen van het inkoopproces, door het bundelen en/of delen van hun inkoopvolumes, informatie, markt- en vraagrisico's en/of middelen (L. R. Burns & Lee, 2008). De grootste voordelen voor het ziekenhuis zijn: vermindering van inkoopgerelateerde kosten en meer aandacht voor operationele kernactiviteiten. Nadelen hierbij zijn de vermindering van flexibiliteit, lager reactievermogen, beperkte innovatiecapaciteit en bijkomende coördinatiekosten (Rego, Claro, & Pinho de Sousa, 2014).

In het centralisatiemodel verzenden de leveranciers rechtstreeks naar het centrale magazijn, het Central Service Center (CSC). Dit magazijn omvat voorraden voor meerdere ziekenhuizen. De materialen worden vervolgens vanuit het CSC rechtstreeks naar de ziekenhuisafdelingen van de verschillende ziekenhuizen verzonden (Rossetti, Buyurgan, & Pohl, 2012). De genoemde voordelen in de literatuur omvatten vermindering van de voorraadkosten, grotere efficiëntie en verbetering van de vulpercentages. Centralisatie brengt ook enkele nadelen met zich mee, zoals communicatieproblemen, trager reactievermogen, hogere overheadkosten en beperkte informatie-uitwisseling.

Daarnaast kan het voorraadbeheer in een ziekenhuis ook uitbesteed worden aan een derde partij. Bij een uitbestedingsproces beheert de externe partner de centrale voorraad en worden de goederen rechtstreeks op de zorgafdeling afgeleverd door de externe werknemers (Rivard-Royer, Landry, & Beaulieu, 2002). De belangrijkste drijfveren voor outsourcing zijn kostenreductie, meer focus op kerncompetenties, risicobeperking en de mogelijkheid voor snelle aanpassingen zonder eigen risico. Bij uitbesteden zijn de nadelen vaak het verliezen van controle en flexibiliteit, risico op nalevingsovertredingen en het verlies van interne logistieke kennis en vaardigheden.

De reeds genoemde technologieën steunen alle vier op het correct en optimaal uitwisselen van informatie, al dan niet in real time. Hierdoor is het belang van een geïntegreerd ERP-systeem (Enterprise Resource Planning systeem) essentieel. Het kan managers helpen bij het structureren van hun centrale planning en controle (de Vries & Huijsman, 2011). Daarnaast biedt een ERP-systeem ook enkele opportuniteiten voor een ziekenhuiscontext, namelijk lagere communicatiekosten, betere informatie-uitwisseling, meer interne samenhang en integratie van het ziekenhuis en het biedt ook ondersteuning bij voorraadbeslissingen (bepalen van safety stock en het reorder punt) (Razi & Tarn, 2003). De uitdagingen bij een ERP-systeem in een ziekenhuisomgeving zijn het vermijden van inconsistentie tussen het ERP-systeem en het ziekenhuis. Daarnaast kan de variatie aan belanghebbenden en hun belangen ook zorgen voor moeilijkheden.

Distributie in het ziekenhuis

Verschillende interne logistieke stromen vinden plaats in een ziekenhuis tussen de centrale voorraad en de zorgafdeling. De diversiteit van deze logistieke stromen, elk met zijn eigen specifieke regels en complexiteit, maakt het beheer van dit proces tot een complexe taak. Er bestaan verschillende routerings-, plannings- en transporttechnieken. Deze masterproef bespreekt meer gedetailleerd de distributie van twee types zorgproducten, namelijk medicijnen en steriel materiaal. Deze producten worden namelijk vaak vanuit een ander verdeelpunt (centrale apotheek, centrale steriele voorraad) gedistribueerd naar de zorgafdelingen en patiënten.

Het distributieproces van medicijnen is doorheen de tijd geëvolueerd van een systeem waarin de verpleegkundigen de volledige verantwoordelijkheid hadden over het proces naar een eenheidsdoseringssysteem met het apothekerspersoneel als verantwoordelijke. Dit systeem werd later uitgebreid door geautomatiseerde functies namelijk het elektronisch invoeren van voorschriften en automatische medicatiekasten. De kasten, die worden geïnstalleerd op verpleegafdelingen, zien eruit als een geldautomaat waarbij een gebruiker na identificatie de medicatie uit een specifieke lade van de automaat verkrijgt (Balka & Nutland, 2004). Echter gebeurt het transport van medicijnen vaak nog manueel. Hierbij kan een routeringsmodel, zoals het Dynamic Pickup and Delivery Problem (DPDP) maar ook een Vehicle Routing Problem (VRP) van pas komen om de routebeslissingen te optimaliseren. Uit de literatuur blijkt dat deze modellen maar beperkt in een ziekenhuiscontext worden toegepast.

De distributie van steriel materiaal verloopt via de steriele opslagplaats waar de instrumenten worden gesteriliseerd om ze vervolgens naar het operatiekwartier te distribueren. Deze instrumenten worden vaak per set gegroepeerd voor een specifieke operatie (Klundert, Muls, & Schadd, 2007). Kort voor een operatie worden de vereiste sets uit de opslag gehaald, op een kar gelegd, en deze kar wordt naar het vereiste operatiekwartier gebracht (Prajogo, Oke, & Olhager, 2016). Vroeger werd de sterilisatieactiviteit vaak gedecentraliseerd en gefragmenteerd uitgevoerd, dichtbij of in de operatiekamers van het ziekenhuis. Vandaag hebben de meeste moderne ziekenhuizen hun sterilisatiefunctie gereorganiseerd als een afzonderlijke en gecentraliseerde dienst die alle ziekenhuisafdelingen bedient (Mascolo & Gouin, 2013). Dit levert dezelfde voordelen op als bij centralisatie van voorraadbeheer.

Verder kunnen de transporttechnieken nog geoptimaliseerd worden met behulp van automatisch geleide voertuigen of AGV's. Dit zijn mobiele robots die zelfstandig karren met zorgproducten kunnen transporteren naar de correcte zorgafdeling (Vis, 2006). De voordelen van deze techniek zijn: de werklast van logistieke werknemers overnemen, 24/7 actief zijn, meer veiligheid en meer bedrijfsefficiëntie bekomen. Nadelen van AGV zijn hoge investeringskosten, de nood aan een geïntegreerd en hoog technologisch informatiesysteem en ondersteunende technologieën, belemmering door overheids wetten en weerstand van de werknemers.

Ten slotte kan in een ziekenhuiscontext ook gebruik gemaakt worden van drones voor distributiedoeleinden. Deze kunnen instaan voor de levering van dringende zorgproducten rechstreeks naar de zorgafdeling (Silvestri, Pagliarani, Tomasello, Trojaniello, & Sanna, 2022). Voor een ziekenhuis biedt deze transportmethode voornamelijk efficiëntie in tijdskritische situaties,

vermindering van manueel transport en tijdsbesparing. Drones vergen echter wel hoge investeringskosten, nood aan kennis en bijbehorende technologieën en ondervinden ook beperkingen door de wetgeving.

Deze masterproef toont aan dat er niet zoiets bestaat als de pasklare oplossing inzake logistiek voor alle gezondheidsinstellingen. Het is vooral een combinatie van bovengenoemde optimalisatietechnieken en systemen die moet worden toegepast en dit rekening houdend met het type zorgproduct dat al dan niet op voorraad ligt en gedistribueerd dient te worden. De literatuur over deze onderwerpen in een ziekenhuiscontext is echter beperkt en focust zich voornamelijk op de externe distributieketen. Voor toekomstig onderzoek zijn er in de interne keten nog veel analysemogelijkheden en opportuniteiten.

Inhoudsopgave

Lijst van figuren.....	11
Lijst van tabellen	13
Hoofdstuk 1: Probleemstelling	15
1.1 Praktijkprobleem.....	15
1.2 Onderzoeksvragen.....	17
1.3 Aanpak literatuurstudie.....	18
Hoofdstuk 2: De ziekenhuis supply chain.....	21
2.1 Definities.....	21
2.1.1 Ziekenhuislogistiek.....	21
2.1.2 De ziekenhuis supply chain.....	22
Hoofdstuk 3: Voorraadbeheer in het ziekenhuis.....	31
3.1 Definitie van het voorraadbeheersysteem in een ziekenhuis.....	31
3.2 Algemene voorraadbeheermodellen	33
3.2.1 Periodieke, continue en hybride herziening.....	34
3.2.2 Safety stock en cycle stock.....	36
3.2.3 Het EOQ-voorraadmodel.....	37
3.2.4 Een deterministisch periodiek herzieningsmodel.....	40
3.2.5 Een stochastisch continu herzieningsmodel	41
3.2.6 Een stochastisch één-periode herzieningsmodel voor bederfelijke producten	43
3.2.7 Een stochastisch periodiek herzieningsmodel.....	44
3.2.8 Systemen voor voorraadbeheer van meerdere producten.....	45
3.3 Voorraadbeheersystemen in een ziekenhuis.....	45
3.3.1 Aanvraag gedreven voorraadsysteem (periodiek).....	46
3.3.2 Ruilkarren (periodiek).....	46
3.3.3 Periodieke automatische aanvulling (periodiek).....	47
3.3.4 Two-bin systeem (periodiek).....	47
3.3.5 Gebruiker gestuurd systeem (continu).....	49
3.3.6 Gewichtscontrolebakken (continu).....	49
3.3.7 Two-bin systeem met RFID-ondersteuning (continu).....	50
3.4 Optimalisatie van voorraadbeheer in een ziekenhuis.....	51
3.4.1 Vendor Managed Inventory (VMI).....	52
3.4.2 Groepsaankooporganisaties (GPO).....	56
3.4.3 Centralisatie van voorraadbeheer	58
3.4.4 Uitbesteden van voorraadbeheer.....	60
3.4.5 ERP-systemen.....	62
Hoofdstuk 4: Distributie in het ziekenhuis.....	65
4.1 Interne distributieproces in een ziekenhuis	65
4.2 Distributie van medicijnen in een ziekenhuis	69
4.2.1 Berekening van ophaal- en leveringsroutes.....	72
4.2.2 Planning van ophaal- en leveringsroutes.....	73
4.3 Distributie van steriel materiaal in een ziekenhuis.....	74

4.4	Optimalisatie van distributie in een ziekenhuis.....	76
4.4.1	Optimalisatiemodellen voor distributiebeslissingen	76
4.4.2	Geautomatiseerde transporttechnieken.....	78
4.4.3	Gebruik van drones.....	81
Hoofdstuk 5: Conclusie		83
5.1	Algemene conclusie.....	83
5.2	Kritische reflectie en toekomstig onderzoek.....	85
Lijst van geraadpleegde werken		87

Lijst van figuren

Figuur 1: Ziekenhuis supply chain gebaseerd op Landry & Beaulieu (2013).....	23
Figuur 2: Interne ziekenhuis supply chain gebaseerd op Volland et al. (2017)....	24
Figuur 3: Generiek kader ziekenhuis supply chain gebaseerd op Ziat et al. (2019)	25
Figuur 4: Toeleveringsmodule processen gebaseerd op Ziat et al. (2019).....	27
Figuur 5: Bronmodule processen gebaseerd op Ziat et al. (2019)	28
Figuur 6: Ziekenhuis SCM processen gebaseerd op AbuKhoua et al. (2014).....	29
Figuur 7: Ziekenhuis opslagruimtes gebaseerd op Moons, Waeyenbergh, & Pintelon (2019)	32
Figuur 8: Algemene voorraadmodellen gebaseerd op Volland et al. (2017)	35
Figuur 9: Diagram van het voorraadniveau als functie van de tijd voor het basis EOQ-model, gebaseerd op Wray (2012).....	39
Figuur 10: Centralisatiemodel gebaseerd op Rossetti et al. (2012)	59

Lijst van tabellen

Tabel 1: Categorijsatie voorraadsystemen	46
Tabel 2: Voordelen en risico's van VMI voor beide partijen gebaseerd op Guimarães et al. (2013)	54
Tabel 3: Voor- en nadelen van GPO op twee niveaus gebaseerd op Rego et al. (2014)	56
Tabel 4: Voor- en nadelen van centralisatie van voorraadbeheer	60
Tabel 5: voor- en nadelen van outsourcing voorraadbeheer	61
Tabel 6: Opportuniteiten en uitdagingen van een ERP-systeem	63
Tabel 7: Voor- en nadelen van AGV	80
Tabel 8: Voor- en nadelen van drones in een ziekenhuiscontext	82

Hoofdstuk 1: Probleemstelling

In dit hoofdstuk wordt in sectie 1.1 het praktijkprobleem waarover deze masterproef handelt, gesitueerd en afgebakend. Voorts worden in sectie 1.2 de centrale onderzoeksvraag en de bijbehorende deelvragen geformuleerd. Ten slotte sluit dit hoofdstuk af in sectie 1.3 met de aanpak van de literatuurstudie.

1.1 Praktijkprobleem

Sinds 2017 staan vele Belgische ziekenhuizen financieel onder druk door structurele besparingen, opgelegd door de overheid. Een jaarlijkse financiële analyse van de ziekenhuissector in België door Belfius toont aan dat de ziekenhuisbedrijfsresultaten jaar na jaar blijven dalen. In 2016 hadden 32 van de 89 Belgische ziekenhuizen een negatief bedrijfsresultaat. Hierdoor is een structurele hervorming sterk nodig om de rode cijfers te beperken (S.N., 2016).

België is geen unicum. Over de hele wereld worden ziekenhuizen uitgedaagd om de kosten te drukken en hun activiteiten beter te beheren. Tegelijkertijd moeten ze voldoen aan de zorgbehoeften van een steeds veeleisendere en groeiende bevolking. Hun basismissie is om gezondheidszorg te verlenen aan patiënten. Om de patiëntenzorg tot een goed einde te brengen zijn er binnen de zorginstelling tal van randactiviteiten, vaak onzichtbaar voor de patiënt, met grote impact zowel op de kwaliteit als de kost van de zorg (Jawab & Frichi, 2018). Onder deze randactiviteiten vallen onder andere aankoop, voorraadbeheer en de distributie van de nodige artikelen naar het zorgpunt (Landry & Beaulieu, 2013). Deze verschillende logistieke activiteiten behoren niet tot de kerntaak van zorginstellingen, maar zijn wel noodzakelijk om patiënten de optimale gezondheidszorg te kunnen bieden (Jawab & Frichi, 2018).

De belangstelling voor de kosten van een patiënt en voor de logistieke processen binnen een ziekenhuisomgeving is de laatste jaren sterk gestegen door de financiële druk (Landry & Beaulieu, 2013). Een aanzienlijk deel van de ziekenhuiskosten wordt besteed aan logistieke activiteiten, die tot 46% van het ziekenhuisbudget kunnen uitmaken. Hierdoor kan ziekenhuislogistiek een belangrijke hefboom zijn om kostenbesparingen te realiseren en een efficiënte manier zijn om de dienstverlening van ziekenhuizen te verbeteren (Jawab & Frichi, 2018).

Volgens Landry & Beaulieu (2013) is ziekenhuislogistiek een geheel van ontwerp-, plannings- en uitvoeringsactiviteiten die de aankoop, het voorraadbeheer en de bevoorrading van goederen en diensten rond de verlening van medische diensten aan patiënten mogelijk maken.

De complexe ziekenhuiscontext en de grote hoeveelheid aan betrokken partijen zorgen ervoor dat de logistieke beslissingen van zowel voorraad- als distributieprocessen (definities zie resp. secties 3.1 en 4.1) niet vergeleken kunnen worden met andere bedrijfscontexten. Een zorginstelling heeft namelijk andere omstandigheden (vb. tijdskritische vraag voor spoedopnames), prioriteiten (vb.

zorgverlening boven winstoogmerk) en beperkingen (vb. beperkte logistieke investeringen/capaciteit) dan een bedrijf dat op winst gericht is (Dellaert & Poel, 1996).

Verschillende redenen worden gevonden waarom het huidige logistieke proces in een ziekenhuis nog niet geoptimaliseerd is. Uit een studie van het Vlaamse Instituut voor de Logistiek (VIL, 2012) blijkt dat in de zorgsector de interne logistiek een probleem vormt voor een efficiënte goederenstroom (VIL, 2012). Onder interne logistiek vallen overwegend routings- en planningsproblemen van goederen binnen het ziekenhuis, hoofdzakelijk van de centrale magazijnlocatie naar de respectievelijke zorgeenheden (Volland et al., 2017). Door de groei en omvang van zorgcentra is een structurele aanpak van het voorraad- en distributiebeheer vereist. De logistieke processen vallen uiteen in verschillende delen die beperkt met elkaar gelinkt worden: bestelling, receptie, opslag, het scannen van de goederen en het in kaart brengen van de interne distributieprocessen. Het optimaliseren en automatiseren van deze processen kan tot kosten- en tijdsbesparingen leiden (Byl, 2013). Daarnaast kan een efficiënte logistiek in deze sector ook een instrument worden om de arbeidstevredenheid van het medisch personeel te verhogen (Landry & Beaulieu, 2013).

In 1996 bracht een Amerikaans *Efficient healthcare consumer response* (EHCR) verslag de inefficiënties in de distributieketen tussen fabrikanten, distributeurs en zorgverleners al aan het licht (CSC, 1996). Deze inefficiënties bevatten onder andere dubbel werk, meerdere opslagplaatsen, een versnipperde informatiestroom, allerlei soorten vertragingen en ondermaatse dienstverlening. Bovendien hebben de vele verschillende stromen van informatie en materiaal in een ziekenhuis geleid tot medisch personeel dat bijdraagt aan de logistieke activiteiten, gerelateerd aan de verschillende gebruikte voorraden. Dit betekent dat binnen een ziekenhuis bijna iedereen betrokken is bij de supply chain. Van de betrokken stakeholders heeft het medisch personeel vaak noch de expertise, noch de middelen om de logistieke activiteiten efficiënt te beheren. Na het EHCR-verslag werd duidelijk dat de distributieketen in de gezondheidszorg een tekort had aan nauwkeurige en toegankelijke gegevens met betrekking tot de goederenstromen en voorraden, waarbij het ontbreken van standaarden voor de gegevens een groot obstakel vormde (Landry & Beaulieu, 2013).

Naast de distributie, is het ook een hele uitdaging voor ziekenhuizen om de planning en controle van de bevoorradingsactiviteiten op een efficiënte manier te organiseren. Hoewel veel ziekenhuizen over een voorraadbeheersysteem beschikken, ligt het beheer van deze activiteiten en de moeilijkheidsgraad van de ziekenhuiscontext niet altijd op één lijn met het gebruikte systeem. Lapierre & Ruiz (2007) tonen de waarde van een aangepast voorraad- en distributiebeheer in de zorgsector aan. Een standaard voorraadmodel is het reorder point model. Het basisidee van dit model is dat telkens wanneer de voorraadpositie daalt tot op of onder het "reorder point", een order met lotgrootte of een geheel veelvoud van eenheden van artikelen wordt geplaatst om een voorraadpositie te verzekeren die groter is dan het "reorder point". Op die manier wordt de voorraadpositie bepaald door de aanwezige voorraad plus de uitstaande aanvullingsorders minus de nabestellingen.

Het gebruik van het standaard voorraadmodel bevat ten minste drie beperkingen voor een ziekenhuis. Deze zijn onder meer het gebrek aan voldoende personeel om de complexiteit van het inventarissysteem aan te kunnen en de behoefte tot het opvolgen van de opslagcapaciteiten van de centrale opslagplaats en de verschillende magazijnen. Ten slotte houden klassieke modellen ook geen rekening met de servicegraad, maar focussen ze enkel op de kosten. Verschillende mogelijkheden waarbij een hogere kwaliteit van dienstverlening aan bod komt, worden vaak dus niet als oplossing beschouwd door de hogere kosten ervan. Een model enkel geconcentreerd op voorraad, zonder rekening te houden met de context waarin het opereert is dus niet mogelijk in de zorgsector (Jodlbauer & Dehmer, 2020).

Ten slotte verloopt het doorvoeren van veranderingen in een openbare sector zoals ziekenhuizen, in vergelijking met de privésector, aan een zeer traag tempo. Het traditioneel, vaak hiërarchisch denken van een zorginstelling speelt hierbij een rol. Het verplegend personeel wil vaak geen werk uit handen geven en staat minder open voor nieuwe voorraad- en distributieprocessen, ook al kunnen deze helpen bij het verminderen van logistieke taken voor zorgkundigen (Coddé, 2012). Aangezien de meeste landen te kampen hebben met een tekort aan verpleegkundigen, is het zeer belangrijk manieren te vinden om ervoor te zorgen dat alle inspanningen van het zorgpersoneel naar patiëntenzorg gaan. In plaats daarvan besteden veel van deze werknemers momenteel meer dan 10% van hun tijd aan logistieke taken (Landry & Beaulieu, 2013). Door een mogelijke vermindering in werklast bij het optimaliseren van logistieke processen of het uitbesteden ervan, kan de verpleging zich meer focussen op de kerntaak, namelijk de patiëntenzorg. Om deze veranderingen en optimalisatie door te voeren moeten alle partijen van het ziekenhuis betrokken worden bij het logistieke plan. Daarnaast kan het uitbesteden van bepaalde logistieke taken aan derden ook bijdragen aan het optimalisatieproces (Coddé, 2012).

Het onderzoeken van logistieke efficiëntie en optimalisatie, meer specifiek de voorraad- en distributieprocessen, binnen een ziekenhuis is zowel relevant op economisch vlak (kostenreductie) als sociaal vlak (efficiëntere zorgverlening). Het doel van deze masterproef is om een overzicht te geven van de optimalisatiemogelijkheden voor de logistieke beslissingen gerelateerd aan voorraadbeheer en distributie in een ziekenhuis.

1.2 Onderzoeksvragen

Om het onderzoeksdomein af te bakenen, worden in deze sectie een centrale onderzoeksvraag en enkele deelvragen geformuleerd. Hierop zal een antwoord gezocht worden doorheen de masterproef.

Op basis van de situering van het onderwerp in sectie 1.1 kan volgende centrale onderzoeksvraag afgeleid worden:

Hoe kunnen bestaande distributieprocessen en voorraadprocessen in een ziekenhuis geoptimaliseerd worden?

Sekaran & Bougie (2017) menen dat de centrale onderzoeksvraag van een wetenschappelijk onderzoek aan drie criteria moet voldoen namelijk relevant, haalbaar en interessant. De vorige sectie toonde de relevantie op zowel maatschappelijk als economisch vlak aan. Het is haalbaar om het onderzoek binnen de gestelde tijd af te ronden. Ten slotte is aan het laatste criterium, een interessante onderzoeksvraag, eveneens voldaan bij het maken van de studie- en masterkeuze.

Om de zoektocht naar relevante literatuur mogelijk te maken en de masterproef structureel op te bouwen, worden uit de centrale onderzoeksvraag diverse deelvragen gevormd. Uit de centrale onderzoeksvraag komen volgende deelvragen voort met betrekking tot de algemene supply chain, het distributieluik en het voorraadbeheer van ziekenhuizen:

- Hoe ziet de ziekenhuis supply chain eruit?

Optimalisatie van het voorraadproces in een ziekenhuis:

- Hoe is het voorraadproces in een ziekenhuis gestructureerd en georganiseerd?
- Welke modellen, systemen, technieken worden in de wetenschappelijke literatuur voorgesteld met betrekking tot de optimalisatie van voorraadprocessen in het algemeen en specifiek in de gezondheidszorg?
- In welke mate kan een optimaal voorraadbeheer een hefboomeffect hebben bij de besparing van de kosten in de ziekenhuisomgeving?

Optimalisatie van het intern distributieproces in een ziekenhuis:

- Hoe is het intern distributieproces in een ziekenhuis gestructureerd en georganiseerd?
- Welke modellen, systemen, technieken worden in de wetenschappelijke literatuur voorgesteld met betrekking tot de optimalisatie van distributieprocessen in het algemeen en specifiek in de gezondheidszorg?
- In welke mate kan een optimaal intern distributieproces een hefboomeffect hebben bij de besparing van de kosten in de ziekenhuisomgeving?

1.3 Aanpak literatuurstudie

In deze masterproef worden de onderzoeksvragen beantwoord aan de hand van een literatuurstudie vanuit een wetenschappelijk perspectief. Om de literatuurstudie af te bakenen focust deze masterproef zich enkel op de voorraad- en distributiemodellen van medische benodigdheden (bijvoorbeeld mondkapen, medicijnen, chirurgische instrumenten, bloed en ontsmettingsmiddel). Hierbij worden distributie en voorraad van maaltijden, onderhouds- en schoonmaakbenodigdheden, beddengoed, kantoorbenodigdheden en distributie van patiënten en personeel buiten beschouwing gelaten.

Onder andere volgende begrippen zullen in deze masterproef onderzocht worden: hospital logistics, supply chain management in healthcare, medical supplies, hospital inventory, distribution & inventory models, logistic costs in healthcare, hospital supply expenses. Sleutelwoorden werden gecombineerd om het aantal relevante treffers te beperken.

De wetenschappelijke literatuur wordt verkregen via verschillende zoekmachines op basis van bovenstaande termen en theorieën. Dit kan bijvoorbeeld via de online-bibliotheek van UHasselt, Scencedirect of Google Scholar.

In de literatuurstudie zal gebruik worden gemaakt van wetenschappelijke papers en boeken. Per deelvraag zal literatuur gezocht worden om de verschillende gedetailleerde onderwerpen af te bakenen tijdens de zoekopdracht. Bij het vinden van een paper wordt eerst het abstract, de inleiding en de conclusie doorgenomen om te beoordelen of de paper relevant is voor het onderwerp en de onderzoeksvragen. Voor klassieke, standaardconcepten zoals distributie- en voorraadmodellen uit de logistiek, zijn oudere papers dan het jaar 2000 toegestaan. Bij de papers die meer toegepast logistiek onderzoek bieden in een ziekenhuiscontext, gaat de voorkeur naar meer recentere publicatiedata (gepubliceerd na het jaar 2000).

De laatste barrière in het selecteren van papers bestaat uit de volledige paper grondig door te lezen. Indien het onderzoek toch niet bijdraagt aan de literatuurstudie van deze masterproef, dan kan de paper achterwege gelaten worden.

Hoofdstuk 2: De ziekenhuis supply chain

Hoofdstuk 2 bespreekt de supply chain van het ziekenhuis aan de hand van verschillende definities van het concept gegeven door meerdere auteurs. Nadien wordt in 2.1.2 het volledige ziekenhuis supply chain proces beschreven en gevisualiseerd.

2.1 Definities

2.1.1 Ziekenhuislogistiek

In het werk van Jawab & Frichi (2018) wordt een waaier aan definities voor ziekenhuislogistiek beschreven, en dit door verschillende auteurs. Volgens Landry & Beaulieu (2013) is ziekenhuislogistiek een geheel van ontwerp-, plannings- en uitvoeringsactiviteiten die de aankoop, het voorraadbeheer en de bevoorrading van goederen en diensten rond de verlening van medische diensten aan patiënten mogelijk maken. De Franse vereniging voor toelevering en logistiek ASLOG stelt dat ziekenhuislogistiek het beheer van patiënten-, product- en materiaalstromen en de bijbehorende informatie omvat en dit om kwaliteit en veiligheid te garanderen op een bepaald niveau van prestatie en efficiëntie van de zorgverlener naar de patiënt. Volgens Ducasse (1995) omvat ziekenhuislogistiek op zijn minst de onderstaande drie delen:

- De traditionele activiteiten in ziekenhuizen die gericht zijn op het beheer (waaronder aankoop, productie, opslag en distributie) van de materiaalstromen die nodig zijn voor het aanbieden van zorg.
- Een systeem dat gericht is op het gebruik van technieken voor de modellering van deze stromen om de organisatorische keuzes van het ziekenhuis in kaart te brengen of om fysieke distributietechnologieën in de ziekenhuiscontext te implementeren.
- Een managementbenadering die vanuit de processen en stromen (patiëntenstroom, productstromen, informatiestromen) streeft naar het herontwerpen van de doorstroom aan medische producten en de ziekenhuisorganisatie zelf, rekening houdend met de verwachtingen van de omgeving waarin het opereert.

Costin (2010) stelt dat de belangrijkste opdracht van de ziekenhuislogistiek erin bestaat de verschillende actoren van het ziekenhuis te voorzien van de materiële middelen om te functioneren. In het zorgproces speelt logistiek een belangrijke rol. Het voorziet de zorgeenheden van de verwerking en synchronisatie van fysieke en informatiestromen, alsook van de optimale middelen, om patiëntenzorg te leveren tegen de laagste kosten.

Ziekenhuislogistiek wordt volgens Sampieri-Teissier (2002) onderverdeeld in twee categorieën:

- De traditionele logistiek, die zich richt op het beheer van grondstoffen die direct of indirect worden gebruikt voor de productie van de dienst.
- De logistiek van de diensten, dat is het beheer van de patiëntenstromen door in te spelen op de vraag en de capaciteiten, ziekenhuislogistiek beoogt te arbitreren tussen de wachttijden van de patiënten en de optimalisering van de capaciteiten.

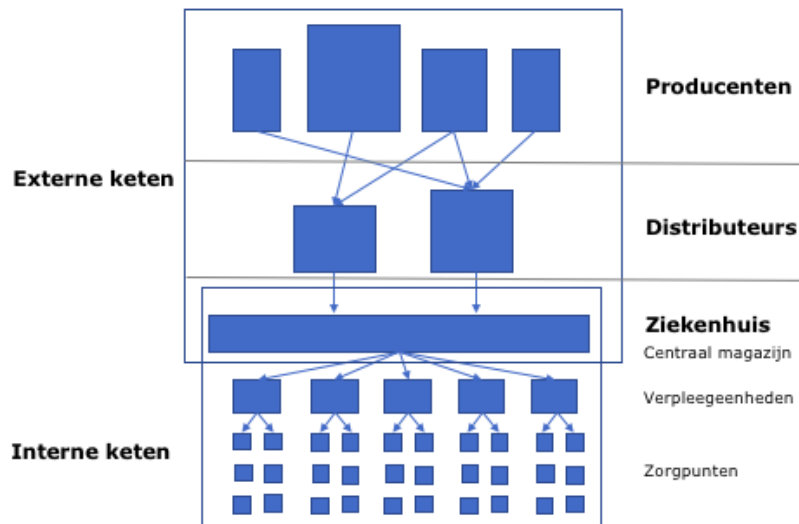
Eenzijds spreken alle auteurs van een klassieke goederenstroom op gang getrokken door het streven naar een optimaal aankoop-, voorraad- en distributiebeleid. Sommige auteurs beperken zich tot deze klassieke definitie, waaronder Landry & Beaulieu (2013) en Costin (2010). De definities van ASLOG en Ducasse (1995) gaan een stuk verder en voegen een extra dimensie of uitdaging bij zoals de aandacht voor de kwaliteit van de dienstverlening naar de patiënt en de daarbij horende verwachtingen. Een niet te miskennen dimensie in het hele logistieke proces, maar wellicht de moeilijkste als het op objectieve kwantificering aankomt.

Uit bovenstaande definities blijkt duidelijk dat logistiek binnen een ziekenhuiscontext een zeer complex en cruciaal proces is, rekening houdend met de verschillende belanghebbenden en de grote hoeveelheden aan stromen van goederen, informatie en financiële aspecten (Jawab & Frichi, 2018). In deze masterproef zal de definitie van Landry & Beaulieu (2013) gebruikt worden als betekenis voor ziekenhuislogistiek wanneer deze term in volgende delen aan bod komt. Vooral twee van de drie pijlers van logistiek volgens de definitie van Landry & Beaulieu (2013), namelijk het voorraad- en distributiebeleid, worden meer gedetailleerd besproken en onderzocht in volgende hoofdstukken.

2.1.2 De ziekenhuis supply chain

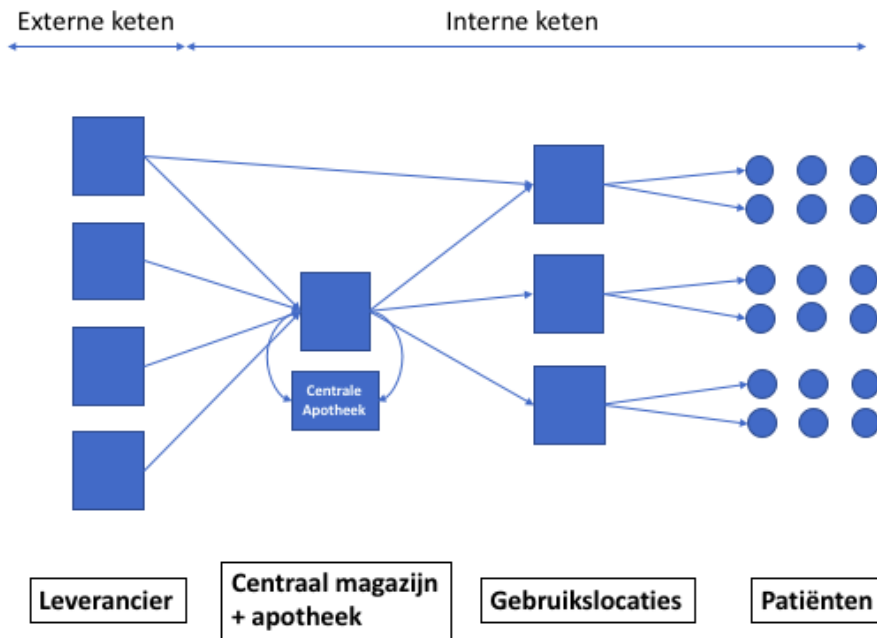
Een supply chain is het netwerk tussen een onderneming en haar leveranciers om een specifiek product te produceren en te distribueren naar de eindafnemer. Dit netwerk omvat verschillende activiteiten, mensen, entiteiten, informatie en middelen. De toeleveringsketen vertegenwoordigt ook de stappen die nodig zijn om het product of de dienst van grondstof tot eindproduct om te zetten en naar de klant te brengen. Supply chain management kan worden beschreven als het beheer van de externe en interne aspecten van de activiteiten van een onderneming, inclusief de aankoop, logistiek, productie en distributieprocessen die betrokken zijn bij het aanbieden van goederen en diensten. Om de activiteiten in een ziekenhuis mogelijk te maken en optimale zorg te verlenen aan de patiënt, kunnen ziekenhuizen ook geassocieerd worden met een supply chain en het management ervan (Prajogo et al., 2016).

Ziekenhuizen zijn veel meer dan alleen maar een schakel in de toeleveringsketen van de gezondheidszorg. Zij ontvangen een breed scala aan producten die de zorgverlening ondersteunen. De toeleveringsketen in de gezondheidszorg bestaat uit drie grote spelers in verschillende stadia: producenten, distributeurs en ziekenhuizen (zie figuur 1). Tot de producenten behoren onder andere fabrikanten van medische en chirurgische producten en farmaceutische bedrijven. Deze producenten kopen hun grondstoffen aan bij leveranciers om ze nadien tot eindproducten voor ziekenhuizen om te zetten. Tot de distributeurs behoren group purchasing organizations (GPO), die de koopkracht van een groep bedrijven bundelen om kortingen te verkrijgen, farmaceutische groothandelaren, distributeurs van medisch-chirurgische producten, onafhankelijke distributeurs op contractbasis en productvertegenwoordigers van de fabrikanten. Aanbieders van gezondheidszorg zijn onder meer ziekenhuizen en gezondheidsdiensten. De drie spelers van de externe keten opereren grotendeels onafhankelijk van elkaar en gecoördineerd supply chain management bestaat nauwelijks (L. Burns et al., 2002).



Figuur 1: Ziekenhuis supply chain gebaseerd op Landry & Beaulieu (2013)

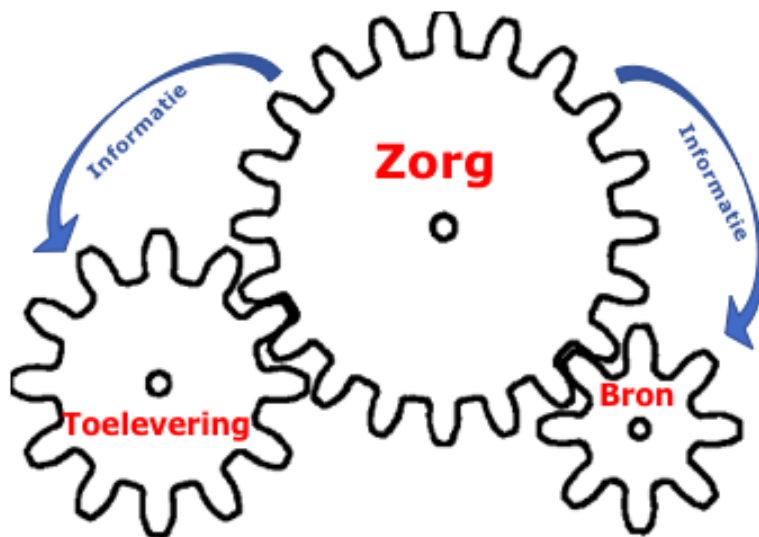
Binnen de ziekenhuizen zelf, de interne keten, is de goederendistributie typisch ontworpen als een meervoudig voorraadbeheersysteem. Een centraal magazijn ontvangt goederen van de distributeurs. Gewoonlijk is het centrale magazijn nauw verbonden met de centrale apotheek die verantwoordelijk is voor de behandeling van farmaceutische producten en de productie van bederfelijke geneesmiddelen, bijvoorbeeld intraveneuze vloeistoffen. Het centrale magazijn levert regelmatig goederen aan de opslagplaatsen in de verschillende verpleegeenheden, deze zijn de gebruiklocaties waar de patiënten als eindgebruikers de medische benodigdheden consumeren (zie figuur 2). Naast deze "traditionele methode" worden in de praktijk nog twee andere goederendistributiesystemen toegepast, namelijk "semi-directe levering", waarbij de leveranciers het centrale magazijn overslaan en rechtstreeks op de zorgafdeling leveren. De derde benadering, "directe levering", staat het dichtst bij JIT (Just in Time), wat betekent dat de leverancier de verantwoordelijkheid op zich neemt om te reageren op de vraag van de patiënt en de voorraden op de gebruikslocaties bij te vullen (Volland et al., 2017).



Figuur 2: Interne ziekenhuis supply chain gebaseerd op Volland et al. (2017)

Het doel van de ziekenhuis supply chain is de kwaliteit en de veiligheid van de patiëntenzorg te waarborgen in een zeer complexe en tijdrovende omgeving. Daarom is het essentieel om een kader te definiëren dat de zorgproductenstroom binnen het ziekenhuis beschrijft. Het modelleren van ziekenhuisprocessen is een belangrijk instrument voor het optimaliseren van de patiëntenzorg. Het hoofddoel is om de activiteiten te identificeren die het meest gewaardeerd worden door de patiënt en verbeteringen voor te stellen voor de stringen of tekortkomingen. De beschrijving van de stroom van zorgproducten is ook noodzakelijk om de impact ervan op de kwaliteit van de geleverde dienst te zien (Ziat, Sefiani, Reklouï, & Hamid, 2019).

Ziat et al. (2019) ontwikkelden een generiek kader voor de ziekenhuis supply chain, georganiseerd rond drie verschillende modules (zie figuur 3). Als eerste is de Zorgmodule de belangrijkste motor voor de tevredenheid van de patiënt. Activiteiten gewijd aan patiëntenzorg worden zo nauwkeurig mogelijk beschreven om het traject van de patiënt vanaf zijn opname tot aan zijn ontslag te optimaliseren. De volgende twee modules bevatten twee verschillende maar nauw met elkaar verbonden circuits voor de stroom van zorgproducten in het ziekenhuis. Enerzijds de Toeleveringsmodule die het medisch management rond de patiënt voorstelt. Anderzijds het logistieke circuit of Bronmodule wat het hele proces van aankoop, vervoer en opslag van materiaal voorstelt.



Figuur 3: Generiek kader ziekenhuis supply chain gebaseerd op Ziat et al. (2019)

Aangezien het een lang en complex traject kan zijn, berust de kwaliteit en de veiligheid van de zorg op de noodzaak van een globale aanpak om de verschillende stadia van de patiëntenzorg te kunnen begrijpen. Als eerste module is de Zorgmodule ontwikkeld om de processen vanaf opname tot ontslag van de patiënt duidelijk te beschrijven. De processen in deze module worden in een bepaalde volgorde uitgevoerd om efficiënte zorg te verlenen aan de patiënt. Het is een patiënttraject dat begint met de opname- en diagnoseprocessen en vervolgens verdergaat met de processen in verband met behandeling en ontslag van de patiënt. Onder deze processen vallen bijvoorbeeld het oriëntatieproces (activiteiten in verband met het informeren en verzamelen van de eerste informatie), het onderzoeksproces dat bestaat uit handelingen die de exacte medische toestand van de patiënt bepalen, het behandelingsproces om met behulp van activiteiten uitgevoerd bij de patiënt de status te veranderen tot "genezen" en het ontslagproces dat de planning van de patiënt na de behandeling, de follow-up en het ontslag uit het ziekenhuis bevat (Ziat et al., 2019). Deze processen van de Zorgmodule worden niet verder gedetailleerd uitgelegd aangezien de masterproef zich focust op andere supply chain processen, namelijk voorraad- en distributieprocessen.

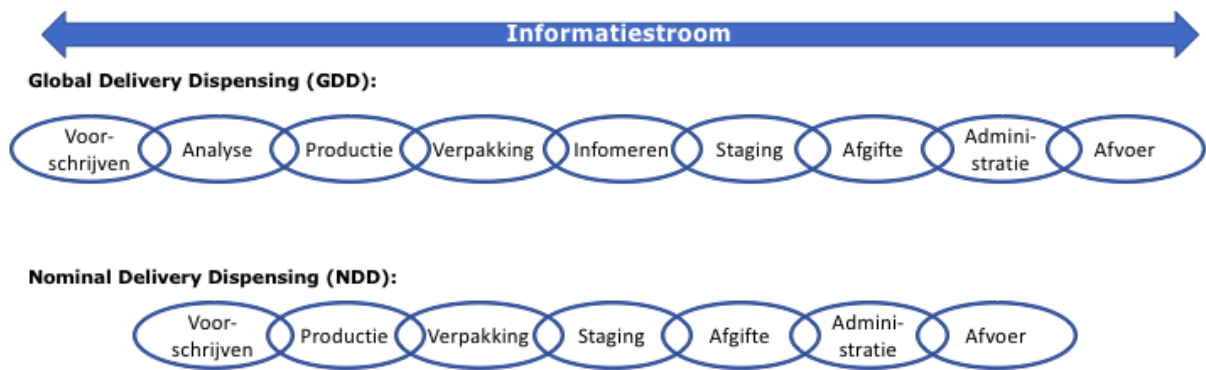
De vraag die gegenereerd wordt door de Zorgmodule tijdens het traject van de patiënt, zet de activiteit het aanleveren van zorg- en farmaceutische producten in gang in de ziekenhuis supply chain, wat onder de Toeleverings- of tweede module valt. Deze module is een essentieel onderdeel van de gezondheidszorg, niet alleen omdat het de tweede grootste kostenpost is van de ziekenhuisuitgaven, maar ook omdat het de activiteit van de zorgverlening aan de patiënten ondersteunt. De toeleveringsketen moet op een efficiënte manier de producten ter beschikking stellen die nodig zijn voor de zorg van een patiënt. Het ziekenhuis moet de veiligheid en traceerbaarheid van de toegediende producten garanderen, met respect voor de talrijke reglementeringen rond farmaceutische producten en hun toediening. Het doel van het informatiebeheersysteem is een perfecte coördinatie tussen de patiënten- en verzorgingsproductenstromen ondersteunen om een optimaal beheer en een correcte facturatie mogelijk te maken (Ziat et al., 2019).

In deze tweede module verloopt de toelevering van verzorgingsproducten aan de zorgeenheden volgens twee hoofdmodaliteiten:

- Global Delivery Dispensing (GDD): geheel van processen voor de levering van verzorgingsproducten op basis van de bestellingen van de zorgeenheden. De zorgproducten worden in bulk verdeeld over de zorgeenheden. Deze processen spelen zich af in het centraal magazijn.
- Nominal Delivery Dispensing (NDD): alle processen die verband houden met het administratief controleren van de toelevering en geïndividualiseerde bereiding van geneesmiddelen aan patiënten gedurende een variërende tijdsduur (Ziat et al., 2019).

Deze Toeleveringsmodule bevat make-to-order processen aangezien waarde wordt toegevoegd aan de zorgproducten door middel van reiniging, herverpakking, sterilisatie, dosering en chemische processen op basis van de orders van de zorgeenheden. Deze processen (zie figuur 4) worden gedefinieerd als:

- Voorschrijfproces: geheel van activiteiten die verband houden met de uitgifte en de ontvangst van een aanvraag voor een zorgproduct. Deze aanvraag kan worden uitgedrukt als een specifiek medisch voorschrift of een interne bestelling van de zorgeenheden.
- Analyseproces: het proces van het verifiëren van de veiligheid en doeltreffendheid van de bestelling en het plannen van de productieactiviteiten.
- Productieproces: de reeks activiteiten waarbij waarde wordt toegevoegd aan ingekochte producten om hun toestand om te zetten en de gedefinieerde specificaties en vereisten te waarborgen.
- Verpakkingsproces: de reeks activiteiten met betrekking tot het verpakken en beschermen van de producten voor opslag.
- Informatieproces: reeks handelingen in verband met de vrijgave, etikettering en verstrekking van de nodige informatie en adviezen voor het juiste gebruik van het medisch product.
- Staging: het proces van het verplaatsen van de geproduceerde en verpakte producten naar een opslagplaats om te wachten op verplaatsing naar de zorgeenheden.
- Afgifteproces: aanverwante activiteiten van picken, laden, verplaatsen en ontvangen van de zorgproducten in de zorgeenheden.
- Administratieproces: het proces waarbij de zorgproducten uit de opslagplaats worden gehaald, de overeenstemming tussen de geproduceerde producten en de voorschriften wordt gecontroleerd, de medicijnen worden toegediend en de dosis in het patiëntendossier wordt geregistreerd.
- Afvoerproces: activiteiten in verband met het identificeren van herbruikbare en wegwerpproducten, het verzamelen en beheren van het afval dat tijdens het patiëntentrajec wordt geproduceerd.



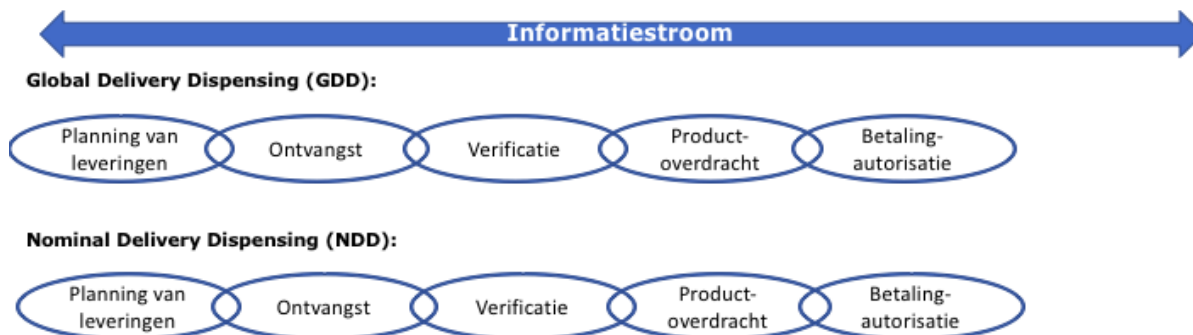
Figuur 4: Toeleveringsmodule processen gebaseerd op Ziat et al. (2019)

Op bovenstaande figuur is een verschil op te merken tussen de GDD en NDD-processen. Bij NDD zijn de analyse- en informatieprocessen weggelaten. Het opvolgen van de individuele bereiding en administratie van medicatie vereist geen verificatie van de veiligheid en doeltreffendheid van de bestelling en het plannen van de productieactiviteiten, aangezien deze intern geproduceerd worden. Hierdoor is analyse van ontvangst van de order niet meer nodig. Daarnaast werd het informatieproces ook weggelaten aangezien de kennis ook intern is en men dus geen extra informatie moet verstrekken over het product bij ontvangst ervan in de centrale voorraad of in de zorgeenheid. Alle andere processen moeten wel nog steeds correct uitgevoerd worden voor de twee type afgiftemodules (GDD en NDD) (Ziat et al., 2019).

De stroom van de verzorgingsproducten is van groot belang, zowel vanwege de medische als de financiële impact. De producten hebben betrekking op de vitale behoeften en de tevredenheid van de patiënt. Ze zijn vaak ook zeer kostbaar en kunnen onder strikte regelgeving en toezicht staan. Het kritieke karakter van het beheer van de stroom aan zorgproducten (door bijvoorbeeld tekorten en verval) dwingt de ziekenhuisverantwoordelijken om een evenwicht te vinden en betere oplossingen te zoeken voor deze problemen. In deze context stelt de Bronmodule het ziekenhuis in staat de financiële impact te verminderen door met behulp van administratieve processen het productverbruik te monitoren, de voorraden te verkleinen, verspilling te minimaliseren en een betere traceerbaarheid van de inventaris te bieden. Voor deze module geldt de bevoorrading voor zowel GDD als NDD zorgproducten via volgende processen (zie figuur 5):

- Proces van planning van leveringen: de activiteiten in verband met de identificatie van de behoeften, de planning en beheren van de leveringen van de zorgproducten van de leverancier aan het ziekenhuis.
- Ontvangstproces: het geheel van activiteiten in verband met het uitladen en de fysieke ontvangst van zorgproducten in het ziekenhuis.
- Verificatieproces: het proces waarbij wordt vastgesteld of het zorgproduct in overeenstemming is met de kwalitatieve en kwantitatieve eisen en criteria.
- Productoverdrachtsproces: reeks handelingen die verband houdt met het voorbereiden, het op voorraad houden van aanvaarde zorgproducten en het overbrengen naar de juiste opslaglocatie binnen het ziekenhuis.

- Proces van betalingsautorisatie: geheel van activiteiten met betrekking tot het autoriseren van betalingen en het betalen van leveranciers voor de geaccepteerde zorgproducten. Deze activiteiten omvatten het verzamelen en matchen van facturen, het boeken van facturen en de uitgifte van cheques of betaling via bankoverschrijving (Ziat et al., 2019).



Figuur 5: Bronmodule processen gebaseerd op Ziat et al. (2019)

In de Bronmodule zijn de processen voor de producten die via de GGD en NDD verlopen gelijkaardig aangezien zowel algemene bulk zorggoederen als individuele bereide medicatie alle administratieve processen moeten doorlopen (Ziat et al., 2019).

Het managen van voorgaande stromen kan een uitdaging vormen in de gezondheidszorg. Supply chain management (SCM) in de gezondheidszorg verschilt van SCM in andere industrieën omdat er een verscheidenheid aan artikelen, in sterk uiteenlopende hoeveelheden, wordt verwerkt als gevolg van variatie in diagnosetypes en procedures. Het wordt sterk beïnvloed door veelzijdige wetgevingen en door de centrale rol van professionals (bijvoorbeeld dokters, managers) in de gezondheidszorg. Hoewel de patiënten de eindconsumenten zijn van de producten die via de supply chain worden geleverd, hebben zij geen controle over de keuze van deze producten. In tegenstelling tot andere industrieën kunnen producten niet worden gepromoot of geveild wanneer de houdbaarheidsdatum nadert, waardoor ze uiteindelijk worden vernietigd. Bovendien leiden de voortdurend evoluerende technologieën in de medische sector tot korte productlevenscycli en hoge kosten voor de aankoop van voorkeursartikelen voor gezondheidswerkers. Tenslotte is het voor planners in de SCM van gezondheidszorg moeilijk om de frequentie, de duur en de diagnosetypes voor patiëntenopnames te voorspellen en bijgevolg de bijbehorende productvraag te definiëren (AbuKhoua, Al-Jaroodi, Lazarova-Molnar, & Mohamed, 2014).

SCM maakt patiëntenzorg mogelijk door het medisch personeel te voorzien van producten en diensten die zij nodig hebben om snelle medische zorg van de beste kwaliteit te leveren. Bovendien zijn er veel consumenten (patiënten en medische beroepsbeoefenaren) met een grote verscheidenheid aan behoeften. Tegelijkertijd moet SCM de strategie van gezondheidszorgorganisaties mogelijk maken, namelijk de kwaliteit van de patiëntenzorg maximaliseren en de kosten minimaliseren. Dit kan worden bereikt door de beschikbaarheid van producten te garanderen, de opslagruimte te minimaliseren (om de ruimte voor patiëntenzorg te maximaliseren), de tijd en kosten van materiaalbehandeling te verminderen, en de niet-liquide activa (inventaris) te minimaliseren. Besluitvormingsprocessen in SCM in de gezondheidszorg moeten dus

rekening houden met vele elementen zoals kosten, rentabiliteit, standaardisatie en voorraadbeheer (AbuKhoua et al., 2014).

Volgens AbuKhoua et al. (2014) is het SCM-proces in de gezondheidszorg verdeeld in een reeks cycli die elk op het raakvlak tussen verschillende opeenvolgende stadia plaatsvinden (zie figuur 6).

1. De klantbestelling wordt in gang gezet wanneer het niveau van een product een bepaald laag niveau bereikt omdat het door gebruik en verkoop wordt verbruikt.
2. Planning en verificatie van de productbehoefte: op basis van gebruik en verkoop wordt nagegaan of nieuwe voorraden moeten worden besteld, naast studies over trends, productbeschikbaarheid, voorraden en productkosten.
3. Productselectie en -inkoop: wordt gebruikt om het juiste te bestellen product, te selecteren op basis van beschikbaarheid, kostenverificatie, bestelhoeveelheid, levertijd en leverdatum.
4. Ontvangst, opslag en distributie: wordt gebruikt om bestelde producten te ontvangen op basis van goedgekeurde bestellingen, en om te controleren of de producten worden geleverd in de juiste hoeveelheid, tegen de juiste prijs en op het juiste tijdstip.
5. Budget, voorraadbeheer en kostenbeheersing: vertegenwoordigt de financiële verantwoordelijkheid van de SC voor de organisatie. Deze dienen geoptimaliseerd te worden om aan de algemene organisatorische doelstellingen te voldoen.



Figuur 6: Ziekenhuis SCM processen gebaseerd op AbuKhoua et al. (2014)

Terwijl de integratie van de externe toeleveringsketen de meeste aandacht krijgt op het gebied van SCM, blijft de interne toeleveringsketen de zwakke plek van de hele keten (Volland et al., 2017). Op basis van de onderzochte ervaringen toont de studie van Rivard-Royer et al. (2002) aan dat de inspanningen om de bevoorradingketen te integreren tot nu toe vooral gericht waren op de efficiënte bevoorrading van de externe schakels van de keten maar zelden verder gingen dan de belangrijkste opslagruimten van de patiëntenzorgunit. De werking van de afdeling materiaalbeheer is tot op zekere hoogte binnen zijn eigen traditionele grenzen gehouden. De studie suggereert echter dat er een bijkomend potentieel voor kostenvermindering en kwaliteitsverbetering van de gezondheidszorg bestaat door het actiegebied van de huidige toeleveringsketen uit te breiden tot de

patiëntenverzorgingsafdelingen (interne keten). Het toont ook aan dat naast de besparingen in verband met de bevoorrading van de patiëntenzorgunits, besparingen in verband met de interne logistiek van de units ook een belangrijke impact kunnen hebben, zowel financieel als op het vlak van de kwaliteit van de gezondheidszorg. Zoals reeds eerder vermeld, focussen de meeste supply-chain modellen vooral op de externe activiteiten, met name wat gebeurt er buiten de zorginstelling, namelijk de aankoop van goederen, het distribueren en leveren van de goederen aan het ziekenhuis. Het interne proces krijgt zeer weinig/beperkte aandacht in de bovenstaande geciteerde modellen. Door deze beperkte aandacht is verder onderzoek naar dit proces zeer relevant. Met het oog op het oplossen van de deelvraag rond het optimaliseren van interne supply chain processen, focust deze masterproef zich op de voorraadbeheer en distributie van zorgproducten die beide tot de interne keten behoren.

Hoofdstuk 3: Voorraadbeheer in het ziekenhuis

In hoofdstuk 3 wordt gefocust op het voorraadbeheer binnen een ziekenhuis. Sectie 3.1 begint met het geven van een definitie van het concept. Nadien beschrijft sectie 3.2 verschillende algemene voorraadbeheermodellen die kunnen opgedeeld worden in twee categorieën: continue en periodieke modellen. Daarnaast bespreekt sectie 3.3 Voorraadbeheersystemen die reeds in een ziekenhuis worden toegepast. Dit hoofdstuk eindigt met een sectie 3.4 waarin optimalisatiemogelijkheden voor voorraadbeheer binnen de ziekenhuiscontext worden besproken. Op het einde van dit hoofdstuk zal duidelijk zijn hoe het beheer van de voorraad in een ziekenhuis werkt, wat de bijbehorende modellen zijn, welke de reeds bestaande voorraadsystemen zijn en waar optimalisatie mogelijk is.

3.1 Definitie van het voorraadbeheersysteem in een ziekenhuis

Een belangrijke factor die de bestuurlijke en operationele prestaties van zorgsystemen in het algemeen en ziekenhuissystemen in het bijzonder beïnvloedt, is het voorraadbeheersysteem. Voorraadbeheer verwijst naar het beheren en controleren van een groot aantal en grote verscheidenheid aan artikelen die in een zorgsysteem worden opgeslagen. Essentiële gezondheidszorgartikelen zijn, direct of indirect, nodig in het genezingsproces van de patiënt en de monitoring en controle daarvan. Technisch en wetenschappelijk gezien is de vraag naar zorgartikelen nauw verbonden met aanbevelingen van artsen op basis van de medische conditie van de patiënt. Daarom wordt voorraadbeheer bij voorkeur afgestemd op de patiëntenpopulatie. Hoewel voorraadbeheersystemen voornamelijk op kosten gebaseerd zijn, moeten ziekenhuizen zich richten op het serviceniveau van de patiënt. Beschikbaarheid van zorgartikelen van hoge kwaliteit in een onzekere en continu fluctuerende omgeving is een uitdaging. Een goed onderhouden inventarissysteem helpt de patiënt om zonder vertraging geneesmiddelen te ontvangen en voorkomt situaties waarbij de voorraad in het ziekenhuis uitgeput is. Anderzijds leidt een ontoereikend voorraadbeheersysteem tot een aantal kritieke problemen, zoals de verslechtering van de toestand van de patiënt (Saha & Ray, 2019).

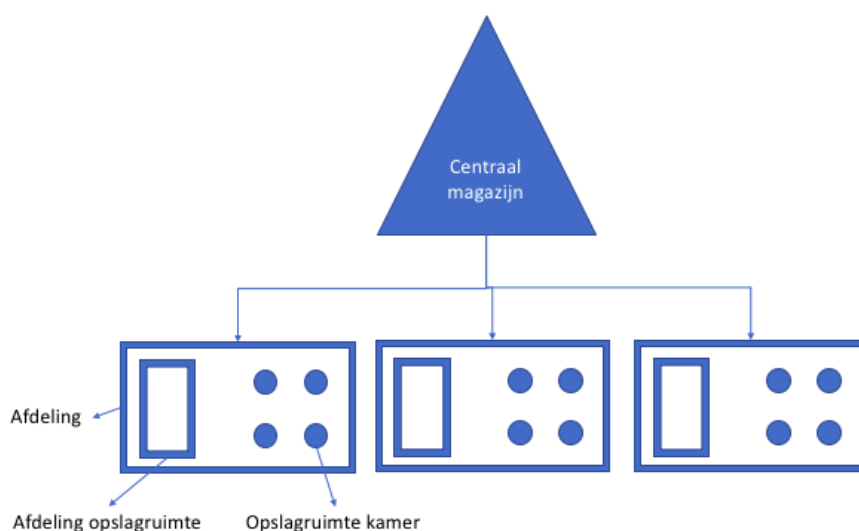
Wanneer voorraden regelmatig uitgeput raken, kunnen patiënten en medisch personeel het vertrouwen in het systeem verliezen. Aan de andere kant kan het aanhouden van een grote voorraad leiden tot aanzienlijke kosten in overtollige voorraad en tot onbeschikbaarheid van kapitaal voor andere doeleinden. Het is een uitdaging om de vraag in een zorgsysteem nauwkeurig te voorspellen vanwege onzekerheden en willekeurigheid, zoals veranderende omstandigheden van patiënten, dynamiek in de voorschriften van artsen en variatie in reacties van de individuele patiënt op behandelingsprocedures. Daarom is de ontwikkeling van een optimaal voorraadbeheerbeleid dat dergelijke onzekerheden en willekeurigheid kan opvangen, essentieel (Saha & Ray, 2019).

Enkele karakteristieken die een significante invloed kunnen hebben op voorraadbeheersystemen in de gezondheidszorg zijn de volgende:

- Voortdurende verandering van de toestand van de patiënt: Dergelijke veranderingen in de toestand van de patiënt maken de onderliggende vraag naar zorgproducten zeer onzeker.

- Variabiliteit in de duur van het verblijf van de patiënt: De patiënt kan korte of lange tijd in de zorgsetting verblijven op basis van zijn medische toestand en aanbeveling van de arts. Hierdoor varieert de vraag naar gezondheidszorgartikelen afhankelijk van de totale verblijfsduur van de patiënt.
- Overdracht van de patiënt van de ene zorgafdeling naar de andere: Na verloop van tijd kan de toegewezen zorgseenheid veranderen, afhankelijk van de toestand van de patiënt, waardoor de patiënt naar een ander type zorgseenheid wordt overgeplaatst. De bijbehorende vraag naar artikelen kan ook variëren met de zorgseenheid.
- Heterogeniteit van patiënten en artsen: De individuele patiënt heeft een unieke vraag naar zorgitems op basis van zijn medische toestand. Bovendien zijn artsen ook heterogeen en vertonen ze dynamisch voorschrijfgedrag als gevolg van klinische onzekerheid, variatie in patiëntkenmerken, verschillen in de praktijkstijlen, kennis en ervaring.
- Afhankelijkheid van de vraag tussen artikelen: Er zijn mogelijkheden van associaties tussen verschillende geneesmiddelen die aan patiënten worden voorgeschreven. Dergelijke associaties kunnen een impact hebben op de vraag naar de medicatie (Saha & Ray, 2019).

Een ziekenhuis (figuur 7) beschikt klassiek over een centrale opslagruimte waar de grootste voorraad aan medische benodigdheden gestockeerd wordt. Van hieruit worden de zorgbenodigdheden met behulp van een distributieproces naar de juiste afdeling overgebracht. Op deze afdelingen of verpleegeenheden bevindt zich meestal een hoofdopslagruimte waar medische benodigdheden worden bewaard. Deze ruimte is echter zelden de definitieve opslagplaats, aangezien secundaire opslagpunten zich dichterbij de effectieve plaats van gebruik bevinden. Deze laatste punten, die worden bijgevuld met voorraden uit de hoofdopslag in de verpleegeenheden, kunnen verschillende vormen aannemen, namelijk van mobiele karretjes tot vaste opslagplaatsen in patiëntenkamers. Bovendien worden bepaalde benodigdheden, die gewoonlijk niet-voorraadartikelen worden genoemd, niet opgeslagen in centrale magazijnen maar direct na ontvangst geleverd aan een specifieke verpleegafdeling, bijvoorbeeld de spoedafdeling (Landry & Beaulieu, 2013).



Figuur 7: Ziekenhuis opslagruimtes gebaseerd op Moons, Waeyenbergh, & Pintelon (2019)

De meeste voorraadmodellen kunnen worden ingedeeld naargelang de aan te vullen hoeveelheden periodiek, continu of hybride worden herzien. De meest gebruikte systemen voor het beheren van de voorraden in ziekenhuizen variëren van klinisch gestuurde systemen op basis van aanvragen, ruilkarren, periodieke automatische aanvulling, het two-bin systeem, door de gebruiker gestuurde systemen, het two-bin systeem met RFID-ondersteuning tot gewichtscontrolebakken voor het opvangen van de vraag (Landry & Beaulieu, 2013). Deze systemen worden gedetailleerd toegelicht in sectie 3.3.

3.2 Algemene voorraadbeheermodellen

Omdat het voorraadbeleid de winstgevendheid beïnvloedt, hangt de keuze tussen de verschillende beleidsvormen af van hun relatieve winstgevendheid. Volgende kosten bepalen de rentabiliteit van de bevoorrading: de bestelkosten, de voorraadkosten en de kosten van tekorten. Andere relevante factoren die de winstgevendheid bepalen zijn de opbrengsten, de verkoopkosten en de discontovoeten. Deze zes factoren worden hieronder achtereenvolgens beschreven (Wray, 2012).

De kosten van het bestellen van een hoeveelheid z kunnen worden weergegeven door een functie $c(z)$. De eenvoudigste vorm van deze functie is er een die recht evenredig is met de bestelde hoeveelheid, d.w.z. $c \cdot z$, waarbij c de betaalde prijs per eenheid is. Een andere gebruikelijke aanname is dat $c(z)$ uit twee delen bestaat: een term die recht evenredig is met de bestelde hoeveelheid en een term die een constante K (set-up kosten) is voor z positief en 0 is voor $z = 0$ (Wray, 2012).

$c(z)$ is de orderkost van z eenheden, deze is gelijk aan 0 als $z = 0$ OF $K + cz$ als $z > 0$, waarin K de set-up kosten zijn en c de kosten per eenheid. De constante K omvat de administratieve kosten van het bestellen. Er kunnen nog andere veronderstellingen worden gemaakt over de kosten van bestellingen, maar dit hoofdstuk beperkt zich tot de zojuist beschreven gevallen (Wray, 2012).

De voorraadkosten zijn alle kosten in verband met de opslag van de voorraad totdat deze wordt verkocht of gebruikt. Hieronder vallen de kosten van de opslag, ruimte, verzekering, bescherming en belastingen. De opslagkosten kunnen hetzij continu, hetzij per periode worden berekend. In het laatste geval kunnen de kosten een functie zijn van de maximale hoeveelheid die gedurende een periode wordt aangehouden, de gemiddelde hoeveelheid die wordt aangehouden, of de hoeveelheid in voorraad aan het einde van de periode. Meestal wordt het laatste standpunt ingenomen (Wray, 2012).

De kosten van tekorten (soms ook wel de kosten van niet-bevredigde vraag genoemd) ontstaan wanneer de hoeveelheid van het benodigde product (de vraag) groter is dan de beschikbare voorraad. Deze kosten hangen af van welke van de volgende twee gevallen van toepassing is. In het ene geval, backlogging genaamd, gaat de overtollige vraag niet verloren, maar wordt zij in plaats daarvan vastgehouden totdat eraan kan worden voldaan bij de volgende normale levering om de voorraad aan te vullen. Voor een onderneming die een tijdelijk tekort heeft in de bevoorrading van haar afnemers, kunnen de kosten van het tekort worden geïnterpreteerd als het verlies van de

goodwill van de afnemers en de daaruit voortvloeiende terughoudendheid om terug te keren naar de onderneming (ziekenhuis), de kosten van vertraagde inkomsten en de extra administratiekosten. In het tweede geval, dat geen backlogging wordt genoemd, kan de onderneming, wanneer de vraag de beschikbare voorraad overschrijdt, niet wachten op de volgende normale levering om aan het teveel aan vraag te voldoen. Ofwel (1) wordt aan de te grote vraag voldaan door een prioritaire levering, ofwel (2) wordt er helemaal niet aan voldaan omdat de orders worden geannuleerd. Voor situatie 1 kunnen de kosten van het tekort worden beschouwd als de kosten van de prioritaire verzending. Voor situatie 2 zijn de tekortkosten het verlies van de huidige inkomsten door het niet voldoen aan de vraag plus de kosten van het verlies van toekomstige zaken wegens de verloren goodwill (Wray, 2012).

De inkomsten kunnen al dan niet in het model worden opgenomen. Indien zowel de prijs als de vraag naar het product door de markt worden bepaald en dus buiten de controle van de onderneming liggen, zijn de inkomsten uit de verkoop (in de veronderstelling dat aan de vraag wordt voldaan) onafhankelijk van het voorraadbeleid van de onderneming en kunnen zij worden verwaarloosd. Wanneer de inkomsten in het model echter worden verwaarloosd, moet het verlies aan inkomsten worden opgenomen in de kosten van het tekort telkens wanneer de onderneming niet aan de vraag kan voldoen. Bovendien moeten, zelfs in het geval dat de vraag achterstallig is, de kosten van de vertraging van de inkomsten eveneens in de kosten van het tekort worden opgenomen. Tenslotte houdt de discontovoet rekening met de tijdswaarde van geld. Wanneer een onderneming kapitaal vastlegt in voorraden, kan zij dit geld niet voor andere doeleinden gebruiken (Wray, 2012).

Een ander onderdeel van een voorraadmodel is de doorlooptijd, dat is de hoeveelheid tijd tussen het plaatsen van een order om de voorraad aan te vullen (door inkoop) en de ontvangst van de goederen in de voorraad. Als de doorlooptijd altijd hetzelfde is (een vaste doorlooptijd), dan kan de aanvulling worden gepland precies wanneer dat gewenst is. De meeste modellen in dit hoofdstuk gaan ervan uit dat elke bevoorrading precies op het gewenste moment plaatsvindt, hetzij omdat de levering bijna onmiddellijk plaatsvindt, hetzij omdat bekend is wanneer de bevoorrading nodig zal zijn en er een vaste doorlooptijd is (Wray, 2012).

In volgende secties worden de verschillende classificaties en types van voorraadmodellen besproken. Nadien volgt de bespreking van een waaier aan voorraadbeheersystemen die al in een ziekenhuis worden toegepast.

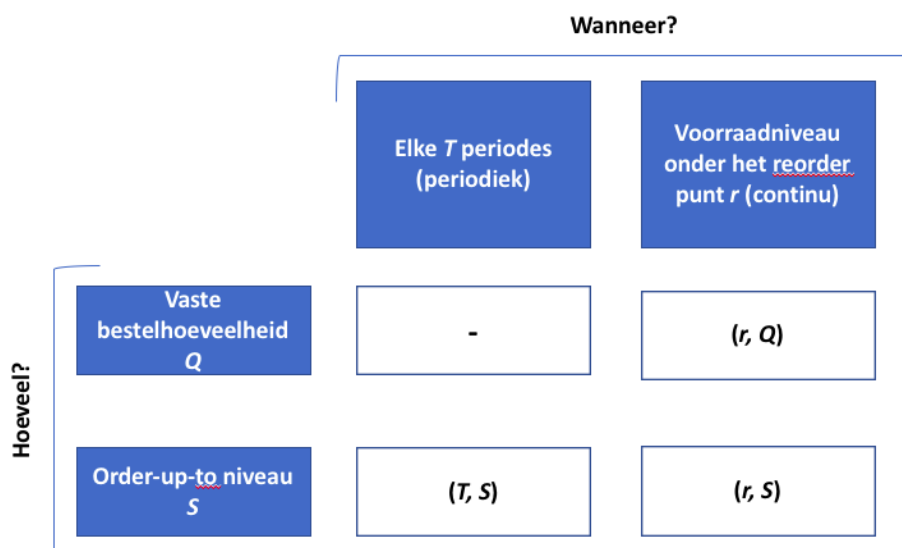
3.2.1 Periodieke, continue en hybride herziening

Voorraadmodellen kunnen geclassificeerd worden op basis van hun type voorraadniveauherziening. Dit niveau kan zowel continu of periodiek gecontroleerd worden (zie figuur 8).

Bij continue controle wordt een bestelling geplaatst zodra het voorraadpeil daalt tot het voorgeschreven reorder punt. In het algemeen wordt steeds dezelfde hoeveelheid artikelen besteld in elke order. De bestelfrequentie varieert bij continu werkende systemen omdat de voorraad continu wordt bewaakt en bestellingen worden geplaatst wanneer het aantal artikelen een bepaald niveau bereikt. Continue herziening omvat twee basisvoorraadmodellen. Het eerste is het (r, Q) beleid,

waarbij telkens wanneer de voorraadniveaus onder het reorder point r vallen, een navulhoeveelheid van Q eenheden wordt geactiveerd. Het tweede continue beleid is het (r, S) -beleid, waarbij in plaats van een vaste herbestelhoeveelheid Q , orders worden getriggerd zodra de voorraad onder het reorder point r daalt, zodat het voorraadniveau S steeds op voorraad is (Wray, 2012).

Bij periodieke herziening wordt het voorraadniveau op discrete tijdstippen gecontroleerd, bijvoorbeeld aan het eind van elke week, en alleen op deze tijdstippen worden bestelbeslissingen genomen, zelfs als het voorraadniveau tussen het vorige en het huidige controlemoment onder het reorder punt daalt. Het aantal bestelde artikelen wordt bepaald op basis van de hoeveelheden aan het einde van elke periode. Er is geen vast reorder niveau voor periodieke herzieningssystemen. Periodieke herziening omvat het (T, S) beleid, dat ook "par level beleid" wordt genoemd. Dit betekent dat na elke toetsingscyclus T , de review periode, een order kan worden geplaatst. De ordergrootte wordt bepaald op basis van het huidige voorraadniveau, zodat na de levering van het order S eenheden van het product in voorraad zijn. Het niveau S wordt het order-up-to niveau genoemd. In de praktijk kan een periodiek controlebeleid worden gebruikt om een continu controlebeleid te benaderen door het tijdsinterval voldoende klein te maken (Wray, 2012).



Figuur 8: Algemene voorraadmodellen gebaseerd op Volland et al. (2017)

Daarnaast is een hybride beleid ook mogelijk, wat een mix is van periodieke en continu herziene inventarissystemen. Dit hybride beleid is een combinatie van periodieke voorraadaanvulling, gewoonlijk aan het begin van elke shift, met reactieve voorraadaanvulling wanneer de voorraad van een bepaald artikel een kritiek niveau bereikt. Wanneer het systeem wordt geraadpleegd, kan het informatie verstrekken over welke artikelen zich op of onder drie vooraf gespecificeerde voorraadniveaus bevinden: par niveau (S), navulniveau (s) en kritisch niveau (R). Bij het hybride beleid wordt aan het begin van elke cyclus, bijvoorbeeld een werkshift, het systeem opgevraagd en wordt een periodieke aanvulling uitgevoerd. Artikelen onder het navulniveau worden aangevuld tot hun par-niveau. Binnen de cyclus wordt, wanneer de voorraad van een artikel door consumptie daalt tot het kritieke niveau, een aanvulling buiten de cyclus geactiveerd om stock-outs te vermijden die

de patiëntenzorg kunnen belemmeren. Tenzij gebruikers andere waarden specificeren, kan software automatisch het navul- en kritieke niveau instellen als een percentage van het par-niveau. Wanneer het hybride beleid in het ziekenhuis wordt gebruikt, is het een verbetering ten opzichte van het traditionele zuiver periodieke beleid. Vooral aangezien het toch een aantal kenmerken behoudt die aantrekkelijk zijn in de gezondheidszorg, zoals stabiliteit van de voorraadniveauparameters en periodieke aanvullingen (C. R. Rosales, Magazine, & Rao, 2014).

3.2.2 Safety stock en cycle stock

Voorraadniveaus kunnen zowel de cyclusvoorraad als de veiligheidsvoorraad omvatten. Beide componenten moeten worden berekend op een per SKU (stock keeping unit: een uniek product of dienst) basis, en moeten correct toegepast worden om de kosten van het dragen te optimaliseren tegen andere risicofactoren (zoals stock-outs) (Corbett, 2001).

De cyclusvoorraad is de hoeveelheid voorraad die volgens de planning in een bepaalde periode zal worden gebruikt. De periode wordt vaak gedefinieerd als de tijd tussen bestellingen (voor grondstoffen), of de tijd tussen productiecycli (voor goederen in bewerking en afgewerkte producten) (Corbett, 2001).

De beste manier om de cyclusvoorraad te bepalen is op basis van voorspellingen en verwachtingen (forecasts). Als er geen voorspelling is, kunnen historische cijfers worden gebruikt als benadering, waarbij rekening moet worden gehouden met seizoensinvloeden, de levenscyclus van het product, of opkomende trends (Corbett, 2001).

Veiligheidsvoorraden kunnen worden beschouwd als buffervorraden; voorraden die volgens de planning niet zullen worden verbruikt, maar die worden aangehouden in geval van nood. De veiligheidsvoorraad wordt meestal aangesproken als de werkelijke vraag groter is dan verwacht, of als de productie minder is dan gepland. In het eerste geval zou de geplande cyclusvoorraad niet voldoende zijn om aan de overtollige vraag te voldoen. In het tweede geval kan de geplande cyclusvoorraad voldoende zijn geweest om aan de vraag te voldoen; de organisatie was echter niet in staat om volgens plan in te kopen of te produceren. In beide gevallen zou, bij gebrek aan voldoende veiligheidsvoorraad, het SKU in backorder gaan. Veiligheidsvoorraden zijn vooral belangrijk in sectoren waar klantenservice een belangrijke succesfactor is (Radasanu, 2016).

In voorraadbeheer is het serviceniveau de verwachte waarschijnlijkheid dat er geen stock-out optreedt tijdens de volgende herbevoorradingscyclus of de waarschijnlijkheid dat er geen verkoop verloren gaat. Het serviceniveau wordt in een bedrijf (ziekenhuis) bepaald door het niveau van de voorraden. Daarom moet het niveau van de veiligheidsvoorraad hoog genoeg zijn om de leveringstermijnen van de leveranciers te dekken, voldoende om aan de vraag van de klanten (patiënten) te voldoen, maar niet zo hoog dat het ziekenhuis geld verliest door de hoge financieringskosten (Radasanu, 2016).

Het aanhouden van grote voorraden is echter duur en houdt verschillende risico's in, zoals opslag, verval en prijsdalingen. Hoe hoger de voorraden, hoe hoger de risico's en de kosten. In het ziekenhuis is het absoluut noodzakelijk een hoog serviceniveau vast te stellen. Het serviceniveau is een afweging tussen opportuniteitskosten en werkingskosten. Het optimaliseren van de serviceniveaus om het rendement voor het ziekenhuis te maximaliseren is gewoonlijk complex en domeinspecifiek. De analyse is gevoelig: het verlagen van de voorraadniveaus resulteert in extra geld dat onmiddellijk beschikbaar is, terwijl de zorgverlening bij cruciale producten geen stock-outs kan tolereren (Radasanu, 2016).

Het niveau van de veiligheidsvoorraad moet worden bepaald aan de hand van een statistische formule die rekening houdt met de doorlooptijden en schommelingen in de vraag (Radasanu, 2016). De formule voor de veiligheidsvoorraad is als volgt:

$$\text{Veiligheidsvoorraad} = (\text{Maximale verbruik} \times \text{maximale doorlooptijd}) - (\text{Gemiddelde verbruik} \times \text{gemiddelde doorlooptijd})$$

Dit is de eenvoudigste en meest gebruikte methode om de veiligheidsvoorraad te berekenen. Het berekent de gemiddelde veiligheidsvoorraad die het bedrijf moet aanhouden tijdens een stock-out scenario, maar houdt geen rekening met de seizoensgebonden schommelingen van de vraag (Radasanu, 2016).

Het aanhouden van te veel veiligheidsvoorraden kan resulteren in veel holdingkosten, zoals de kosten van veroudering, voorraadopslag, rentekosten en bederf. Dit kan een groot probleem zijn wanneer de voorraden een korte houdbaarheid hebben, bijvoorbeeld bij medicatie. In dat geval zal een goed geleide onderneming haar voorraadniveaus voortdurend controleren. Het kan echter tot ergernis van de dokters, verpleegsters of patiënten leiden als de voorraad ontoereikend is.

Kortom, het precieze niveau van de veiligheidsvoorraad, waarbij de eindgebruikers het minst ongelukkig zijn, en tegelijk de investering in voorraad geminimaliseerd wordt, kan heel moeilijk zijn om te optimaliseren (Corbett, 2001).

Cyclusvoorraad en veiligheidsvoorraad kunnen dan bij elkaar worden opgeteld om het optimale voorraadniveau voor elk artikel te bepalen, op basis van de huidige factoren. Elk SKU waarvan het voorraadvolume boven het optimale ligt, kan eventueel worden verlaagd in voorraad, terwijl elk SKU waarvan het voorraadvolume onder het optimale ligt, misschien moet worden verhoogd. Alle significante verhogingen of verlagingen moeten worden goedgekeurd door de juiste partijen, met erkenning van eventuele bijbehorende risico's (Corbett, 2001).

3.2.3 Het EOQ-voorraadmodel

De meest voorkomende voorraadsituatie waarmee fabrikanten, distributeurs en detailhandelaren worden geconfronteerd, is dat de voorraden in de loop van de tijd uitgeput raken en dan worden aangevuld door de komst van een hoeveelheid aan nieuwe eenheden. Een eenvoudig model dat deze situatie weergeeft is het volgende model van de economische bestelhoeveelheid of het Economic

Order Quantity (EOQ) model. Aangenomen wordt dat eenheden van het betrokken product voortdurend aan de voorraad worden onttrokken in een bekend constant tempo, aangeduid met a ; dit betekent dat de vraag een eenheid per tijdseenheid is. Verder wordt aangenomen dat de voorraad wordt aangevuld wanneer dit nodig is door het bestellen van een hoeveelheid met vaste omvang (Q eenheden), waarbij alle Q eenheden gelijktijdig aankomen op het gewenste tijdstip (Wray, 2012). Voor het EOQ-basismodel dat eerst wordt gepresenteerd, zijn de enige kosten die in aanmerking moeten worden genomen:

K = setupkosten voor het bestellen van één batch,

c = eenheidskosten voor de aankoop van elke eenheid,

h = opslagkosten per eenheid per tijdseenheid die in voorraad wordt gehouden (Wray, 2012).

Het doel is te bepalen wanneer en hoeveel de voorraad moet worden aangevuld om de som van deze kosten per tijdseenheid zo laag mogelijk te houden. De totale kosten per tijdseenheid T worden verkregen uit de volgende componenten.

Productie- of bestelkosten per cyclus = $K + cQ$.

Het gemiddelde voorraadniveau gedurende een cyclus is $(Q+0)/2 = Q/2$ eenheden, en de overeenkomstige kosten zijn $hQ/2$ per tijdseenheid. Omdat de cycluslengte Q/a is, zijn de holdingkosten per cyclus = $hQ^2/2a$. De totale cost per cyclus komt dan neer op $K + cQ + hQ^2/2a$.

De waarde van Q die T minimaliseert = Q^* , wordt gevonden door de eerste afgeleide gelijk aan 0 te zetten.

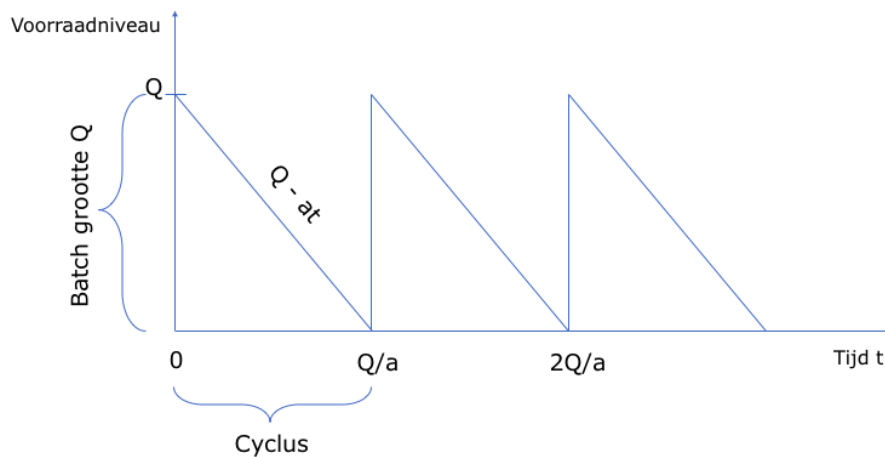
$$\frac{dT}{dQ} = -\frac{aK}{Q^2} + \frac{h}{2} = 0$$

Zodat

$$Q^* = \sqrt{\frac{2aK}{h}}$$

Deze formule wordt ook wel de EOQ formule genoemd.

Dit model gaat van een continu overzicht uit, zodat de voorraad kan worden aangevuld telkens wanneer het voorraadpeil laag genoeg is. Met de vaste vraag kunnen tekorten worden vermeden door de voorraad aan te vullen telkens wanneer het voorraadniveau tot nul daalt, en dit zal ook de holdingkosten minimaliseren. Figuur 9 toont het resulterende patroon van voorraadniveaus in de tijd, beginnende op tijdstip 0 met het bestellen van een partij van Q eenheden om het aanvankelijke voorraadniveau van 0 tot Q te laten stijgen en dit proces vervolgens te herhalen telkens het voorraadniveau weer tot 0 daalt (Wray, 2012).



Figuur 9: Diagram van het voorraadniveau als functie van de tijd voor het basis EOQ-model, gebaseerd op Wray (2012)

Veronderstellingen (basis EOQ-model):

1. Een bekende constante vraag van een bepaald aantal eenheden per tijdseenheid.
2. De bestelhoeveelheid om de voorraad aan te vullen komt in één keer aan precies wanneer gewenst, namelijk wanneer het voorraadniveau tot 0 daalt.
3. Geplande tekorten zijn niet toegestaan (Wray, 2012).

Met betrekking tot veronderstelling 2 is er gewoonlijk een tijdsverschil tussen het tijdstip waarop een bestelling wordt geplaatst en het tijdstip waarop deze in de voorraad aankomt. Het voorraadniveau waarop de bestelling wordt geplaatst, wordt het reorder punt genoemd. Om aan veronderstelling 2 te voldoen, moet dit punt worden gelijkgesteld aan het product van de vraag en de doorlooptijd. Aldus wordt in aanname 2 impliciet uitgegaan van een constante doorlooptijd. De tijd tussen opeenvolgende aanvullingen van de voorraad wordt een cyclus genoemd (Wray, 2012).

Een van de grootste problemen van elke voorraadbeheerder is het optreden van een voorraadtekort (soms een stock-out genoemd). Dit is een vraag waaraan momenteel niet kan worden voldaan omdat de voorraad uitgeput is. Een tekort veroorzaakt allerlei problemen, zoals het omgaan met ontevreden klanten en het moeten bijhouden van extra administratie om later aan de vraag te kunnen voldoen (nabestellingen) wanneer de voorraad weer kan worden aangevuld. Door ervan uit te gaan dat geplande tekorten niet zijn toegestaan, komt het hierboven gepresenteerde EOQ-basismodel tegemoet aan de algemene wens van beheerders om tekorten zoveel mogelijk te vermijden (Wray, 2012).

De laatste decennia is er een toenemende trend om JIT (just-in-time) te implementeren in plaats van EOQ en dit is vooral te wijten aan de impact van het JIT-systeem op het blootleggen van voorraadproblemen en verspillingen in een organisatie. JIT werd in 1970 geïntroduceerd. Het wordt gezien als een voorraadverwijderend systeem terwijl het EOQ model bestellingen plaatst met tijdsintervallen en bijgevolg holdingkosten oplegt. Het EOQ-model bestaat erin een bepaalde hoeveelheid producten in voorraad te houden om deze later te gebruiken, terwijl JIT de voorraadkosten elimineert en erop aandringt elk niveau van de voorraad te verwijderen (Asadabadi, 2015).

Een just in time (JIT) voorraadsysteem legt grote nadruk op het reduceren van de voorraadniveaus tot een absoluut minimum, en dus het leveren van de artikelen precies op tijd wanneer ze nodig zijn. Deze filosofie werd voor het eerst ontwikkeld aan het einde van de jaren 1950 door de Toyota Company en wordt deels toegeschreven aan de opmerkelijke toename van de Japanse productiviteit gedurende een groot deel van het einde van de 20e eeuw. De filosofie is de laatste jaren ook in andere delen van de wereld erg populair geworden.

Een JIT-voorraadsysteem richt zich op het vinden van manieren om de setup-kosten sterk te reduceren zodat de optimale bestelhoeveelheid klein zal zijn. Een dergelijk systeem zoekt ook naar manieren om de doorlooptijd voor de levering van een artikel te verkorten, omdat dit de onzekerheid vermindert over het aantal eenheden dat nodig zal zijn wanneer de levering plaatsvindt. Door net op tijd het juiste aantal eenheden te leveren, is er geen ruimte voor defecte eenheden. In het algemeen ligt de nadruk van de JIT filosofie op het vermijden van verspilling. Eén vorm van verspilling is onnodige voorraad. Andere zijn onnodig hoge instelkosten, onnodig lange doorlooptijden en defecte artikelen. Het minimaliseren van deze vormen van verspilling is een essentieel onderdeel van optimaal voorraadbeheer (Wray, 2012).

In de vorige paragrafen zijn het basismodel van de EOQ en JIT onderzocht. Beide modellen veronderstellen een constante vraag. Wanneer deze veronderstelling wordt versoepeld, d.w.z. wanneer de hoeveelheden die aan de voorraad moeten worden onttrokken, van periode tot periode variëren, garandeert de EOQ-formule niet langer een oplossing met minimale kosten (Wray, 2012).

3.2.4 Een deterministisch periodiek herzieningsmodel

Beschouw het volgende periodiek herzieningsmodel dat van EOQ verschilt op vlak van type herziening, namelijk periodiek in plaats van continu. Voor de komende n perioden moet worden gepland hoeveel besteld moet worden om de voorraad aan het begin van elke periode aan te vullen. De vraag voor de respectievelijke perioden is bekend (maar niet in elke periode dezelfde) en wordt aangeduid met r_i = de vraag in periode i , voor $i = 1, 2, \dots, n$ (Wray, 2012).

Aan deze vraag moet tijdig worden voldaan. In de beginsituatie is er geen voorraad aanwezig, maar er is nog tijd voor een levering aan het begin van periode 1. De opgenomen kosten zijn vergelijkbaar met die van het basis EOQ-model:

K = setupkosten voor het kopen van eenheden om de voorraad aan het begin van de periode aan te vullen,

c = eenheidskosten voor de aankoop van elke eenheid,

h = voorraadkosten voor elke eenheid die aan het einde van de periode in voorraad blijft (Wray, 2012).

De kosten h worden alleen aangerekend op de voorraad die aan het einde van een periode overblijft. Er zijn ook voorraadkosten voor eenheden die gedurende een gedeelte van de periode in voorraad zijn voordat zij aan de vraag worden onttrokken. Dit zijn echter vaste kosten die onafhankelijk zijn van het voorraadbeleid en dus niet relevant zijn voor de analyse. Alleen de variabele kosten die

worden beïnvloed door het voorraadbeleid dat wordt gekozen, zoals de extra holdingkosten die worden gemaakt door de voorraad over te dragen van de ene periode naar de volgende, zijn relevant voor de beoordeling van het voorraadbeleid. Volgens dezelfde redenering is de kostprijs per eenheid c een irrelevante vaste kostprijs omdat, over alle perioden genomen, alle voorraadmodellen hetzelfde aantal eenheden produceren tegen dezelfde kostprijs. Daarom zal c uit de analyse worden weggelaten. Het doel is de totale kosten over de n -perioden te minimaliseren. Dit wordt bereikt door de vaste kosten te negeren en de totale variabele kosten over de n perioden te minimaliseren. Om dit model op te lossen wordt er gebruik gemaakt van een algoritme dat ervan uitgaat dat een optimaal beleid alleen aankoopt wanneer het voorraadniveau nul is. Deze karakterisering van een optimaal beleid kan worden gebruikt om een deterministisch periodiek model te identificeren dat niet optimaal is (Wray, 2012).

Meer bepaald,

C_i = totale variabele kosten van een optimaal beleid voor perioden $i, i+1, \dots, n$ wanneer periode i begint met een voorraad nul (alvorens te produceren), voor $i = 1, 2, \dots, n$.

Door gebruik te maken van de dynamische programmeermethode waarbij periode per periode al terugrekend wordt opgelost, kunnen deze C_i waarden worden gevonden door eerst C_n te vinden, dan C_{n+1} , enzovoort. Nadat dus $C_n, C_{n-1}, \dots, C_{i+1}$ gevonden zijn, dan kan C_i uit het recursieve verband gevonden worden

$$C_i = \text{minimum} \{C_{j+1} + K + h [r_{i+1} + 2r_{i+2} + 3r_{i+3} + \dots + (j-i)r_j]\}, j = i, i+1, \dots, n$$

waarbij j kan worden beschouwd als een index die (het einde van) de periode aangeeft waarin de voorraad voor het eerst een nulniveau bereikt na de productie aan het begin van periode i . In het tijdsinterval van periode i tot en met periode j vertegenwoordigt de term met coëfficiënt h de totale holdingkosten over dit interval. Wanneer $j = n$, is de term $C_{n+1} = 0$. De minimaliserende waarde van j geeft aan dat als het voorraadniveau inderdaad tot nul daalt bij het ingaan van periode i , de productie in periode i alle vraag van periode i tot en met deze periode j moet dekken.

3.2.5 Een stochastisch continu herzieningsmodel

Naast deterministische modellen bestaan er ook stochastische voorraadmodellen, die ontworpen zijn voor de analyse van voorraadsystemen waarbij er een bepaalde, vaak aanzienlijke onzekerheid bestaat over de toekomstige vraag. Hieronder vallen zowel systemen met periodieke als continue herziening voor de voorraad. In deze sectie wordt als eerste een continu herzieningsstelsel besproken. Het voorraadniveau wordt dus voortdurend gecontroleerd, zodat een nieuwe bestelling kan worden geplaatst (Wray, 2012).

Een continu systeem voor een bepaald product zal normaliter gebaseerd zijn op twee kritische getallen:

r = nabestelpunt,

Q = bestelhoeveelheid.

Wanneer het voorraadniveau van het product daalt tot r eenheden, wordt een bestelling voor Q eenheden geplaatst om de voorraad aan te vullen. Een dergelijk beleid wordt vaak een "reorder-point", "order-quantity policy", of kortweg " (r, Q) policy" genoemd (Wray, 2012).

Dit model is nauw verwant met het EOQ model. Het belangrijkste verschil is dat, omdat de vraag voor het huidige stochastische model onvoorspelbaar is, er bij de vaststelling van het nabestelpunt een veiligheidsvoorraad (safety stock) moet worden aangelegd om een buffer te vormen voor het geval de vraag tijdens de periode ver boven het gemiddelde ligt. De afwegingen tussen de belangrijkste kostenelementen zijn in beide modellen dezelfde, waardoor de bestelbedragen vergelijkbaar zouden moeten zijn (Wray, 2012).

Stel,

L = de door het management gewenste waarschijnlijkheid dat er geen voorraaduitval optreedt tussen het tijdstip waarop een bestelhoeveelheid wordt geplaatst en het tijdstip waarop de bestelhoeveelheid wordt ontvangen.

D = de vraag tijdens de doorlooptijd van een bestelling en met de kansverdeling van D als een uniforme verdeling over het interval van a tot b , dan is de formule voor een veiligheidsvoorraad gegeven door

$$\text{Safety stock} = r - E(D) = (L - \frac{1}{2}) * (b - a)$$

Het model maakt de volgende veronderstellingen:

1. Elke toepassing betreft één enkel product.
2. Het voorraadniveau wordt voortdurend herzien, zodat de huidige waarde altijd bekend is.
3. Er moet een (r, Q) beleid worden gevoerd, dus de enige beslissingen die moeten worden genomen zijn de keuze van r en Q .
4. Er is een doorlooptijd tussen het moment waarop de bestelling wordt geplaatst en het moment waarop de bestelhoeveelheid wordt ontvangen. Deze doorlooptijd kan vast of variabel zijn.
5. De vraag naar het onttrekken van eenheden aan de voorraad om ze te verkopen/gebruiken gedurende deze doorlooptijd is onzeker. De waarschijnlijkheidsverdeling van de vraag is bekend (of geschat).
6. Indien een voorraadtekort optreedt voordat een order is ontvangen, wordt de overtollige vraag achter de hand gehouden, zodat de nabestellingen worden vervuld zodra de bestelling arriveert.
7. Telkens wanneer een order wordt geplaatst, worden vaste instelkosten (aangeduid met K) gemaakt.
8. Afgezien van deze instelkosten zijn de kosten van de bestelling evenredig met de bestelhoeveelheid Q .
9. Voor elke eenheid in de voorraad wordt per tijdseenheid een bepaalde opslagkost (aangeduid met h) opgelopen.
10. Wanneer een voorraadtekort optreedt, ontstaan er bepaalde kosten (aangeduid met p) per tijdseenheid, voor elke eenheid die nabesteld is, totdat de nabestelling is uitgevoerd (Wray, 2012).

3.2.6 Een stochastisch één-periode herzieningsmodel voor bederfelijke producten

Bij de keuze van het voorraadmodel dat voor een bepaald product moet worden gebruikt, moet een onderscheid worden gemaakt tussen twee soorten producten. Het ene type is een stabiel product, dat voor onbepaalde tijd verkoopbaar blijft, zodat er geen termijn is voor het wegwerken van de voorraad. Het andere type daarentegen is een bederfelijk product, dat slechts gedurende een beperkte periode in voorraad kan worden gehouden voordat het niet meer kan worden verkocht. Dit is het soort product waarvoor het één-periodemodel is ontworpen. Deze type producten komen binnen een ziekenhuiscontext ook voor (bijvoorbeeld medicijnen). De enige periode in het model is de beperkte periode voordat het product niet meer kan worden verkocht door zijn vervaldatum (Wray, 2012).

In een stochastisch één-periodemodel voor bederfelijke producten hangt de beslissing over de waarde van y , de hoeveelheid aan te leggen voorraden, sterk af van de waarschijnlijkheidsverdeling van de vraag D . Meer voorraad aanhouden dan de verwachte vraag kan wenselijk zijn, maar waarschijnlijk minder dan de maximaal mogelijke vraag. Er moet een afweging worden gemaakt tussen (1) het risico om een tekort te hebben en daardoor kosten voor tekorten te maken en (2) het risico om een overschot te hebben en daardoor kosten te maken voor het bestellen en aanhouden van overtollige eenheden. Dit wordt bereikt door de verwachte waarde (in statistische zin) van de som van deze kosten te minimaliseren (Wray, 2012).

Het model maakt de volgende veronderstellingen:

1. Elke toepassing betreft één enkel bederfelijk product.
2. Elke toepassing betreft één tijdsperiode omdat het product niet later kan worden verkocht.
3. Het zal echter mogelijk zijn zich te ontdoen van alle eenheden van het product aan het einde van de periode en misschien zelfs een restwaarde voor de eenheden te ontvangen.
4. Er is geen beginvoorraad.
5. De enige beslissing die moet worden genomen is de waarde van y , het aantal te bestellen eenheden (hetzij door inkoop of productie) zodat ze aan het begin van de periode in voorraad kunnen worden geplaatst.
6. De vraag naar eenheden die uit de voorraad moeten worden genomen om ze te verkopen (of voor een ander doel) tijdens de periode is een willekeurige variabele D . De kansverdeling van D is bekend (of geschat).
7. Na schrapping van de opbrengst indien aan de vraag zou worden voldaan (aangezien dit onafhankelijk is van de beslissing y), wordt de doelstelling het minimaliseren van de verwachte totale kosten, waarbij de kostencomponenten de volgende zijn:

c = eenheidskosten voor de aankoop van elke eenheid,

h = opslagkosten per eenheid die aan het einde van de periode overblijft (omvat opslagkosten min verkoopwaarde),

p = tekortkosten per eenheid van niet-beantwoorde vraag (omvat inkomsten en kosten van verlies van klantengoodwill) (Wray, 2012).

3.2.7 Een stochastisch periodiek herzieningsmodel

In de vorige sectie werd een stochastisch één-periodemodel gepresenteerd dat is ontworpen voor het omgaan met bederfelijke producten. Nu wordt teruggekeerd naar het bevoorraden van stabiele producten die voor onbepaalde tijd verkoopbaar zullen zijn. De vraag is opnieuw onzeker, waardoor een stochastisch model nodig is. In tegenstelling tot het continu-herzienbare voorraadstelsel, wordt er nu echter van uit gegaan dat het stelsel slechts periodiek wordt gecontroleerd. Aan het einde van elke periode, wanneer het huidige voorraadniveau is bepaald, wordt een beslissing genomen over hoeveel te bestellen om de voorraad voor de volgende periode aan te vullen. Bij elk van deze beslissingen wordt rekening gehouden met de planning voor meerdere perioden in de toekomst (Wray, 2012).

Als eerste wordt het eenvoudigste geval besproken waarin de planning alleen voor de volgende twee perioden wordt gemaakt en er geen instelkosten worden gemaakt bij het plaatsen van een order om de voorraad aan te vullen (Wray, 2012).

Eén mogelijkheid met een stochastisch periodiek-herzien voorraadstelsel is om slechts één periode per keer vooruit te plannen, waarbij het stochastische één-periodemodel uit de vorige sectie wordt gebruikt om telkens de bestelbeslissing te nemen. Deze aanpak zou echter slechts een vrij ruwe benadering opleveren. Als de waarschijnlijkheidsverdeling van de vraag in elke periode voor meerdere perioden in de toekomst kan worden voorspeld, kunnen betere beslissingen worden genomen door de planning voor al deze perioden te coördineren dan door slechts één periode per keer vooruit te plannen. Dit kan complex zijn voor vele perioden, maar is aanzienlijk minder moeilijk wanneer slechts twee perioden tegelijk in rekening worden genomen. Zelfs voor een planningshorizon van twee perioden is het tweemaal gebruiken van de optimale oplossing voor één periode over het algemeen niet het optimale beleid voor het probleem van twee perioden (Wray, 2012).

Afgezien van het feit dat er twee perioden zijn, zijn de veronderstellingen voor dit model in grote lijnen dezelfde als voor het model met één periode, zoals hieronder samengevat:

1. Elke toepassing betreft één enkel stabiel product.
2. Er wordt gepland voor twee perioden, waarbij de onbevredigde vraag in periode 1 wordt uitgesteld om in periode 2 te worden vervuld, maar er is geen uitstel van onbevredigde vraag in periode 2.
3. De vraag D_1 en D_2 voor de periodes 1 en 2 zijn onafhankelijke en identiek verdeelde willekeurige variabelen.
4. Het beginvoorraadniveau (vóór aanvulling) aan het begin van periode 1 is x_1 ($x_1 \geq 0$).
5. De te nemen beslissingen zijn y_1 en y_2 , de voorraadniveaus die moeten worden bereikt door aanvulling aan het begin van respectievelijk periode 1 en periode 2.
6. De doelstelling is het minimaliseren van de verwachte totale kosten voor beide periodes, waarbij de kostencomponenten voor elke periode de volgende zijn:

c = eenheidskosten voor de aankoop van elke eenheid,

h = de holdingkosten per eenheid die overblijft aan het einde van elke periode,

p = tekortkosten per eenheid van onbevredigde vraag aan het einde van elke periode (Wray, 2012).

Eenvoudigheidshalve wordt ervan uitgegaan dat de vraagverdeling voor de twee perioden dezelfde is en dat de waarden van de bovengenoemde kostencomponenten ook dezelfde zijn voor de twee perioden. In vele toepassingen zullen er verschillen zijn tussen de perioden die in de analyse moeten worden verwerkt. Zo kan de waarde van p , als gevolg van veronderstelling 2, voor de twee perioden verschillend zijn. Het tweeperiodenmodel kan daarnaast worden uitgebreid tot verschillende perioden of tot een oneindig aantal perioden. Dergelijke uitbreidingen van het model worden in deze masterproef niet verder besproken (Wray, 2012).

3.2.8 Systemen voor voorraadbeheer van meerdere producten

Alle voorgaande voorraadmodellen hebben betrekking op het beheer van de voorraad van een enkel product op een enkele geografische locatie. Dergelijke modellen leveren de basisbouwstenen van voorraadbeheer. Het is echter belangrijk te erkennen dat vele inventarissystemen tegelijkertijd moeten omgaan met vele producten, soms zelfs honderden of duizenden producten. Bovendien is de voorraad van elk product vaak geografisch verspreid, misschien zelfs wereldwijd.

Bij meerdere producten is het meestal mogelijk om het correcte enkelvoudige productmodel toe te passen op elk van de producten afzonderlijk. Ondernemingen nemen echter niet altijd de moeite om dit te doen voor de minder belangrijke producten wegens de kosten die gepaard gaan met het regelmatig controleren van het voorraadvolume. Een in de praktijk populaire aanpak is de ABC-controlemethode. Hierbij worden de producten verdeeld in drie groepen, de A-groep, de B-groep en de C-groep. De producten in de A-groep zijn de bijzonder belangrijke producten die zorgvuldig moeten worden bewaakt volgens een formeel voorraadmodel. De producten van groep C zijn het minst belangrijk en worden dus slechts zeer occasioneel informeel gecontroleerd. Producten van groep B krijgen een intermediaire behandeling (Radasanu, 2016).

Soms is het niet geschikt om een inventarisatiemodel voor één product toe te passen wegens interacties tussen de producten. Verschillende interacties zijn mogelijk. Misschien kunnen gelijksoortige producten door elkaar worden vervangen wanneer dat nodig is. Voor een ziekenhuis kunnen de setup-kosten voor het bestellen van een product wellicht worden verminderd door een gezamenlijke bestelling van een aantal producten tegelijk. Daarnaast kunnen er ook gezamenlijke budgetbeperkingen zijn voor alle producten of moeten de producten misschien concurreren om beperkte opslagruimte. Het is in de praktijk gebruikelijk om een klein beetje van dergelijke interacties tussen producten te hebben en toch een voorraadmodel voor één product toe te passen. Wanneer een interactie echter een belangrijke rol speelt, is een nadere analyse vereist (Radasanu, 2016).

3.3 Voorraadbeheersystemen in een ziekenhuis

De periodieke en continue voorraadbeheermodellen besproken in sectie 3.2 kunnen geïmplementeerd worden in een ziekenhuiscontext met behulp van specifieke voorraadbeheersystemen. Deze systemen worden kort uitgelegd in onderstaande paragrafen. De volgorde waarin de aanvullingssystemen worden gepresenteerd is niet willekeurig: het volgt dezelfde

volgorde als de introductie ervan in de gezondheidszorg. Tabel 1 geeft de categorisatie van elk systeem weer op basis van periodieke of continue herziening en centralisatie of decentralisatie van de voorraad.

Tabel 1: Categorisatie voorraadssystemen

Voorraadssystemen	Periodiek / Continu	Centraliseerd / Gedecentraliseerd
Aanvraag gedreven	Periodiek	Gedecentraliseerd
Ruilkarren	Periodiek	Centraliseerd
Periodieke automatische aanvulling	Periodiek	Centraliseerd
Two-bin systeem	Periodiek	Centraliseerd
Gebbruiker gestuurd systeem	Continu	Centraliseerd
Gewichtscontrolebakken	Continu	Centraliseerd
Two-bin systeem met RFID-ondersteuning	Continu	Centraliseerd

3.3.1 Aanvraag gedreven voorraadstelsysteem (periodiek)

Het verplegend of medisch ondersteunend personeel voert regelmatig inventarisatietellingen uit in combinatie met verbruiksschattingen (een periodiek controlesysteem op basis van vaste intervallen of met een formulier). Producten waarvan is vastgesteld dat zij niet in voorraad zijn, worden genoteerd op een aanvraagformulier dat handmatig of elektronisch wordt doorgestuurd naar het centraal magazijn. Op basis van deze aanvraag worden de benodigde voorraden verzameld of besteld bij externe leveranciers en naar de verpleegafdeling in kwestie gestuurd. In dit systeem is het vaak het medisch personeel dat de geleverde producten in de opslagruimten moet opbergen. Dit systeem werd vervangen door de ruilkarren (zie sectie 3.3.2) om in een basisbehoefte te voorzien: de verantwoordelijkheid voor de bevoorrading overdragen van het verplegend personeel (dat het aanvraagstelsysteem hanteert) naar een gecentraliseerde administratieve eenheid die deze taken uitvoert voor alle afdelingen in een organisatie in de gezondheidszorg (Landry & Beaulieu, 2013).

3.3.2 Ruilkarren (periodiek)

Medische benodigdheden worden op een kar geplaatst in een opslagruimte op de verpleegunits. De producten worden van de kar genomen en verbruikt, waarbij de kar volgens een vooraf bepaald schema wordt vervangen door een identieke, volledig bevoorrade vervangkar (periodiek herzieningssysteem met vaste intervallen). Tijdens de bevoorradingsperiode wordt de eerste kar teruggebracht naar de centrale opslagplaats om opnieuw te worden bevoorraad. Volgens het vastgestelde tijdschema wordt het lege wagentje later vervangen door een nieuwe bevoorrade kar op de verpleegafdeling (Landry & Beaulieu, 2013).

Wisselkarren kunnen worden gebruikt voor grote hoeveelheden, zoals het bijvullen van linnengoed en beschermende kledij. De vraag naar deze artikelen kan gemakkelijk worden bepaald met behulp van de informatie die beschikbaar is via de voorraadsystemen. Minder vaak gebruikte artikelen kunnen door het personeel van de verpleegafdeling worden geïdentificeerd en moeten op voorhand worden aangevraagd. Deze artikelen worden geleverd door een tweede karretje op een regelmatig geplande basis. Als alternatief kunnen zelden gebruikte artikelen op verzoek worden aangevraagd of als niet-voorraadartikelen worden aangeschaft (Kergosien, Lenté, Billaut, & Perrin, 2013).

3.3.3 Periodieke automatische aanvulling (periodiek)

Periodieke rondes langs de aan te vullen verpleegunits worden uitgevoerd volgens een vooraf bepaald schema. Tijdens de rondes identificeert een logistieke medewerker artikelen die moeten worden aangevuld op de verpleegafdeling door middel van een visuele evaluatie of een meer formele inventarisatietelling. Normaal gesproken wordt een product geïdentificeerd door het scannen van een label met streepjescode op het schap, de bak of de verpakking, waarna de getelde hoeveelheden worden ingevoerd in een computer. De informatie wordt vervolgens geüpload naar het materiaalbeheerinformatiesysteem, dat de getelde hoeveelheden vergelijkt met de vastgestelde quota en een picklijst genereert (periodiek herzieningssysteem met vaste intervallen). De gepicke of bestelde producten worden vervolgens op de verpleegafdelingen afgeleverd en opgeborgen door een logistieke medewerker. Sommige ziekenhuizen gebruiken een minimum/maximum-variant van het par level systeem (Landry & Beaulieu, 2013). De minimum periodieke bestelhoeveelheid betekent dat de bestelhoeveelheid gelijk moet zijn aan of groter moet zijn dan een gespecificeerd niveau als een bestelling wordt geplaatst. De maximale bestelhoeveelheid betekent dat de bestelhoeveelheid niet groter kan zijn dan een gespecificeerde hoeveelheid. Het ziekenhuis kan, na het bekijken van de voorraadpositie, aan het begin van elke tijdsperiode een beslissing nemen. Wanneer het ziekenhuis besluit een order te plaatsen, moet de orderhoeveelheid voldoen aan zowel de minimum bestelhoeveelheid als de maximum beperkingen, waarbij aangenomen wordt dat het minimum kleiner is dan het maximum (Zhu, 2022).

Een par level systeem wordt gebruikt wanneer wordt vastgesteld dat de artikelen periodiek nodig zijn of wanneer de opslagruimte geen plaats biedt voor een ruilwagentje. In dat geval is het efficiënter de artikelen te bevoorraden door een inventaris op de verpleegeenheid op te maken en ze dagelijks, drie- of viermaal per week of wekelijks opnieuw te bevoorraden. Het gebruik van automatische aanvullingssystemen voor de bevoorrading van materiaal, kan ertoe leiden dat het personeel minder tijd verliest aan het verkrijgen van de nodige artikelen voor gebruik (Kergosien, Lenté, et al., 2013).

3.3.4 Two-bin systeem (periodiek)

Een two-bin systeem verwijst naar het verdelen van elk quotum van medische benodigdheden over twee compartimenten of bins. Bij een two-bin inventarissysteem worden alleen lege bakken bijgehouden in plaats van het verbruik van een item op eenheidsniveau. Dit vermindert de gegevensverzamelingskosten. De voorraadbeheerparameters zijn ook op bin-niveau, zoals de bin aanvullingsfrequentie of het aantal lege bins dat een aanvulling in gang zet. Meer traditionele voorraadbeheermodellen die gevonden worden in de literatuur zijn op productniveau. Deze vereisen

dat de vraag op productniveau wordt bijgehouden en dat er voorraadcontroleparameters per item zijn, zoals nabestelpunten en order-up-to levels. Deze voorraadssystemen kosten vaak meer inspanning, tijd en geld. Bins worden meestal aangeduid als primair en secundair. Hoewel het aantal eenheden in elke bin per item zal verschillen, hebben de primaire en secundaire bin van hetzelfde item een gelijke capaciteit. Voor elk artikel wordt de hoeveelheid inventaris die in een bin wordt opgeslagen, gewoonlijk bepaald op basis van het aantal gewenste inventarisbeurten per jaar. Bins staan gewoonlijk rug aan rug in rekken, waarbij de secundaire bin achter de primaire bin staat. Wanneer de primaire bin leeg is, wordt hij uit de rekken verwijderd, en komt de inventaris in de secundaire bin beschikbaar (C. Rosales, Magazine, & Rao, 2015). Het medisch personeel verwijdert het etiket ter identificatie van het product van de voorkant van de lege bin en bevestigt het op een kanbanbord dat aan de muur hangt. Tijdens de rondes scant een logistiek medewerker de etiketten op het bord. De aanvullingsinformatie wordt vervolgens doorgegeven aan het informatiesysteem voor materiaalbeheer, dat een picklijst genereert voor artikelen die in het centrale magazijn zijn opgeslagen, of een aanvraag voor artikelen die van buitenaf worden geleverd (directe aankoop) (Landry & Beaulieu, 2013). Wanneer de lege primaire bin wordt aangevuld, worden de bins verwisseld, d.w.z. de secundaire bin wordt de nieuwe primaire bin, waardoor productrotatie wordt ondersteund, en de recent bijgevoerde bin wordt de secundaire bin. Traditioneel worden two-bin inventarissystemen in ziekenhuizen aangevuld door middel van periodieke reviews, waarbij lege bakken worden aangevuld aan het begin van elk review interval, meestal eenmaal per dag (C. Rosales et al., 2015).

Hoewel de eenvoud van two-bin systemen ziekenhuizen toelaat om op een efficiënte manier een groot aantal items aan te vullen, zijn beleidsparameters zoals de aanvulfrequentie vaak gebaseerd op historisch gebruikte waarden en zijn ze meestal suboptimaal. Het aanvullen van lege bakken vergt tijd van het materiaalbeheerpersoneel, wat vaste kosten met zich meebrengt voor elke aanvulling die wordt uitgevoerd. Bovendien is het materiaalbeheerpersoneel slechts beperkt beschikbaar om de aanvullingen uit te voeren. Aan de andere kant voorkomt het regelmatig controleren en aanvullen van voorraden voorraadtekorten, wat kostbaar kan zijn omdat verpleegkundigen tijd verspillen aan het verkrijgen van artikelen die uit voorraad zijn, wat de patiëntenzorg kan verstoren. Een evenwicht vinden tussen vaste bestelkosten en stock-out kosten kan een uitdaging zijn (C. Rosales et al., 2015).

Voorraadmodellen in de literatuur die het dichtst in de buurt komen van de periodieke herziening two-bin systemen zijn het (nQ, r, T) -aanvullingsbeleid. In een dergelijk beleid wordt om de T tijdsperiodes een bestelling geplaatst telkens wanneer de voorraadpositie tot of onder het reorder punt r daalt. De ordergrootte is steeds een geheel veelvoud van Q zodat de voorraadpositie na bestelling groter is dan r . Dit beleid kan worden omgezet in de two-bin formulering door $r = Q$ gelijk te stellen aan de bin grootte capaciteit (C. Rosales et al., 2015).

Het two-bin systeem kan zowel onder periodieke als continue review geplaatst worden. Het model van periodieke toetsing biedt een benchmark voor de huidige ziekenhuispraktijk en stelt ons in staat de kosten/baten in te schatten van het optimaliseren van het periodieke toetsingsinterval (C. Rosales et al., 2015).

3.3.5 Gebruiker gestuurd systeem (continu)

In het begin van de jaren negentig werden in de Verenigde Staten automatische opslagkasten in verpleegafdelingen geïntroduceerd. Het zijn de eerste door de gebruiker aangestuurde systemen voor het vastleggen van de vraag met het oog op een permanent voorraadbeheer. Bij deze geautomatiseerde systemen worden de artikelen in de verzorgingseenheden opgeslagen in gesloten kasten of open bakken. Elke uitgenomen eenheid wordt door de medewerker geregistreerd (door middel van verschillende middelen zoals het indrukken van knoppen of het scannen van barcodes), waardoor het verbruik wordt vastgelegd. Op elk willekeurig moment (over het algemeen op vaste tijdstippen) wordt communicatie tot stand gebracht met het informatiesysteem voor materiaalbeheer om aanvulling mogelijk te maken op basis van de in voorraad zijnde hoeveelheid. De verzamelde gegevens worden ook doorgestuurd naar de factureringsapplicatie van het ziekenhuis om de patiënten te factureren voor de gebruikte benodigdheden voor hun behandeling. Deze systemen, die vooral werden gebruikt voor medische benodigdheden en farmaceutische producten, kenden een groot succes in de Amerikaanse gezondheidssector als gevolg van de wens van privéziekenhuizen om de door patiënten verbruikte benodigdheden beter af te stemmen op de aan hen gefactureerde benodigdheden. Enkele jaren later werden minder dure "point-of-use"-technologieën met open bakken met transponders ingevoerd. Het probleem met deze systemen, zowel de gesloten als de open, was echter de naleving van de verbruiksregistratie door de gebruikers, met als een van de opmerkelijkste gevolgen onnauwkeurigheden in de inventaris. In het geval van de geautomatiseerde kasten kan het klinisch personeel, zodra de deur van een gesloten kast is geopend, artikelen verwijderen zonder deze te registreren. Bovendien wordt in bepaalde landen, zoals de Verenigde Staten, de praktijk van het factureren van afzonderlijke gebruikte artikelen aan patiënten of verzekeringsmaatschappijen geleidelijk omgevormd tot een diagnostisch en behandelingsgerelateerd systeem, waarbij niet elk product afzonderlijk wordt aangerekend. Om deze reden vragen sommigen zich af of het nog wel praktisch is om dergelijke geavanceerde permanente inventarissystemen te gebruiken in verpleegafdelingen (Landry & Beaulieu, 2013).

3.3.6 Gewichtscontrolebakken (continu)

In het midden van de jaren 2000 werd de gewichtscontrole voor afvalbakken voor algemene benodigdheden uit de industriële sector overgenomen en in de gezondheidszorgsector in de VS geïntroduceerd. De oplossing activeert automatisch het aanvulproces door gebruik te maken van order punt logica. Dit systeem slaat de verschillende artikelen/zorgproducten op in bakken en houdt een permanente inventaris bij in de verpleegeenheid op basis van het gewicht van deze artikelen. Telkens wanneer een artikel uit de bak wordt verwijderd, geeft de weegschaal aan dat het aantal van die artikelen afneemt, wat erop wijst dat de voorraad moet worden aangevuld. Er wordt communicatie tot stand gebracht met het materiaalbeheersysteem om een aanvraag te kunnen genereren. Dit systeem vormt echter een uitdaging vanuit het oogpunt van ruimtegebruik; niet alleen is het een aan de muur bevestigd systeem, maar in veel gevallen moeten de gebruikte muren worden versterkt. Het betreft een beperkt assortiment bakken en kan ook onbetrouwbaar zijn in een live-omgeving (technologiefalen, artikelen die in de verkeerde bak worden teruggeplaatst, controle van vervaldata) (Landry & Beaulieu, 2013).

3.3.7 Two-bin systeem met RFID-ondersteuning (continu)

In deze versie van het two-bin systeem ziet het etiket van de bak eruit als elk ander, maar is het uitgerust met een passieve (zonder batterij) RFID (Radiofrequentie identificatie)-transponder met hoge frequentie (HF). Een lezer is geïnstalleerd achter elk van de aanvulborden waarop de etiketten van lege bakken zijn aangebracht. Dit bord is verbonden met het informaticanetwerk van het ziekenhuis. Zodra een RFID-label binnen het leesbereik van de antenne komt, wordt communicatie tot stand gebracht met het materiaalbeheersysteem, zodat op vaste tijdstippen of volgens vooraf vastgestelde aanvullingsregels een aanvraag kan worden gegenereerd. Dit vergroot de zichtbaarheid van de voorraad. RFID-transponders kunnen niet alleen in compartimenten worden gebruikt, maar kunnen ook op de afzonderlijke kunststof bakken worden aangebracht, waardoor het two-bin systeem op een andere manier kan worden geautomatiseerd. Dankzij de RFID-technologie is het niet langer nodig rondes te lopen om de etiketten van lege bakken te scannen. Het systeem houdt ook een permanente inventaris bij van de bakken (d.w.z. de plastic bakken of compartimenten) (Landry & Beaulieu, 2013).

Ziekenhuizen investeren in technologie zoals RFID of barcodes om stock-outs te vermijden, om de voorraadkosten te drukken en om de inventaris beter te kunnen traceren. RFID-tags op itemniveau kunnen onbetaalbaar zijn voor goedkope artikelen, maar niet voor bins. Het gebruik van deze technologie biedt het ziekenhuismanagement de mogelijkheid om extra economische voordelen te behalen door gebruik te maken van een continu reviserend two-bin systeem. Ziekenhuizen die momenteel traditionele two-bin systemen gebruiken, hebben twee alternatieven om hun voorraadbeheer te verbeteren: (1) parameteroptimalisatie - beginnen met een typisch ziekenhuis periodiek herzieningssysteem en het optimaliseren van parameters zoals het periodieke herzieningsinterval, of (2) beleidsverbetering - overschakelen naar een continu herzieningsbeleid met het gebruik van technologieën zoals bin-level RFID of barcodes (Landry & Beaulieu, 2013).

De integratie van RFID-technologie in het beheer van ziekenhuisvoorraden kan de voorraadniveaus in ziekenhuizen aanzienlijk verlagen en bijgevolg ook de kosten, aangezien inventaris altijd een kostenpost is voor elke onderneming. Het belangrijkste voordeel van RFID-technologie is dat goederen in de gehele toeleveringsketen in real time kunnen worden gevolgd. Het in real time volgen van de levertijd maakt Just-in-Time (JIT) productie en detailhandel mogelijk. JIT helpt ziekenhuisinkoopgroepen strategische beslissingen te nemen (Landry & Beaulieu, 2013). Leaven, Ahmmad, & Peebles (2017) bespraken in hun onderzoek enkele voor de hand liggende voordelen van RFID in de gezondheidszorgsector. De voordelen zijn onder meer een betere traceerbaarheid van waardevolle artikelen/goederen, een betere productieplanning en slimme terugroepacties voor een doeltreffende planning, zichtbaarheid en nauwkeurigheid van de voorraden in elke fase, minder verzendingsfouten in de toeleveringsketen, en technologische normen die de kosten drukken door schaalvoordelen.

3.4 Optimalisatie van voorraadbeheer in een ziekenhuis

Het meest recente toegepaste voorraadbeheersysteem volgens Landry & Beaulieu (2013) in de ziekenhuiscontext is het RFID-geactiveerd herbevoorradingssysteem met twee bakken (zie sectie 3.3.7). De invoering van RFID heeft echter ook enkele technische belemmeringen. RFID-systemen zijn niet altijd betrouwbaar, waardoor het hele systeem in gevaar komt. RFID kan namelijk alleen werken als er voldoende RF-sigitaalsterkte is. De nauwkeurigheid van RFID hangt ook af van verschillende factoren, zoals de plaatsing van de tag, het getagde object, hoek van rotatie, en leesafstand. De kosten die gepaard gaan met de implementatie van RFID zijn ook zeer omvangrijk. De kosten omvatten initiële hardware en software, opleiding, onderhoud en voortdurende upgradekosten (Leaven et al., 2017). Een mogelijke oplossing hiervoor is het toepassen van andere systemen en modellen, zoals VMI (zie sectie 3.4.1), GPO (zie sectie 3.4.2), centralisatie (zie sectie 3.4.3), outsourcing (zie sectie 3.4.4) en ERP-systemen (zie sectie 3.4.5), die voor optimalisatie van het voorraadbeleid kunnen zorgen in de ziekenhuiscontext.

Chandra & Kachhal (2004) bespreken de vijf gebieden van de gezondheidszorgindustrie die op logistiek gebied exponentiële verbetering en optimalisatie kunnen bereiken. De vijf gebieden omvatten vraagbeheer, orderbeheer, leveranciersbeheer, logistiek beheer en voorraadbeheer. Op het gebied van voorraadbeheer kunnen besparingen worden gerealiseerd door geautomatiseerde point-of-service-distributie en de vermindering van het aantal SKU's. In het algemeen kunnen besparingen op het gebied van geïntegreerd beheer worden bereikt door de opslagruimte te beperken, de voorraadeenheden en hun voorraadniveaus tot een minimum te beperken en de omloopsnelheid van de voorraad te maximaliseren.

Mathew & John (2013) voerden een onderzoek uit naar nieuwe trends in supply chains in de gezondheidszorg die de efficiëntie kunnen verbeteren en de totale supply chain kosten kunnen verlagen. De auteurs richtten zich op nieuwe trends die de kosten optimaliseren die gepaard gaan met voorraad, strategie, distributie en de totale supply chain. Hoewel de auteurs veel nieuwe trends vermelden die van toepassing zijn op de healthcare supply chain, zullen enkel de trends besproken worden die van toepassing zijn op voorraadbeheer in de zorgsector. De twee meest doeltreffende voorraadbeheerstechnieken zijn Vendor Managed Inventory (VMI) en de centralisatie van de ziekenhuisinventaris.

Daarnaast zijn er door de toenemende noodzaak om de gezondheidsdiensten te rationaliseren diverse pogingen geweest om de efficiëntie en doeltreffendheid van ziekenhuissystemen te verbeteren door middel van verticale of horizontale, directe of indirecte samenwerking in de toeleveringsketen. Naast coöperatieve inkoop omvatten deze pogingen het voorraadloze systeem, Vendor Managed Inventory (VMI) systemen, resource sharing/pooling door naburige zorgverleners, e-commerce en andere integratie-initiatieven (Rego et al., 2014).

3.4.1 Vendor Managed Inventory (VMI)

Vendor Managed Inventory (VMI) werd in de jaren '80 populair in productieomgevingen als "direct replenishment" of "supplier managed inventory", te onderscheiden van Continuous Replenishment Planning (CRP). Vendor Managed Inventory (VMI) kan gedefinieerd worden als "de praktijk waarbij detailhandelaren leveranciers verantwoordelijk maken voor het bepalen van de omvang en timing van bestellingen, gewoonlijk op basis van de ontvangst van de voorraadgegevens van de detailhandel. Het doel is om de omloopsnelheid van de voorraden in de detailhandel te verhogen en het opraken van voorraden te verminderen" (Vitasek, 2010). Het verschil tussen CRP en VMI is dat bij VMI de detailhandelaar (het ziekenhuis) niet langer bestellingen plaatst bij de fabrikant of distributeur, maar deze laatste namens de detailhandelaar bestelbeslissingen neemt op basis van de gedeelde informatie die hij van de detailhandelaar ontvangt (Guimarães et al., 2013). Deze methode bouwt tot op zekere hoogte voort op het proces van voorraadloze voorraadsystemen. De VMI-methode verschilt van een voorraadloos inventarissysteem in die zin dat VMI de verantwoordelijkheid voor het voorraadbeheer bij de leverancier legt, aangezien het bestelproces geautomatiseerd is. Nauwkeurige informatie over de huidige voorraadniveaus en het verbruik is noodzakelijk om de VMI-methode met succes toe te passen. Het beheren van een dergelijke informatiestroom binnen ziekenhuizen is echter moeilijk door de dynamische vraag en mogelijke spoedprocedures (Kim, 2005).

In VMI-partnerschappen, neemt de verkoper de bevoorradsingsbeslissingen. Deze relaties met VMI-regelingen houden meer in dan real time gegevensuitwisseling door middel van elektronische gegevensuitwisseling (EDI) en integratie van computersystemen voor vendor managed inventory (VMI) (Haavik, 2000). VMI-regelingen kunnen verschillende vormen aannemen naargelang wie de voorraadeigendom bezit, wie de kosten draagt en de mate van samenwerking bij planning en voorraadvorming (Guimarães et al., 2013).

Haavik (2000) beschrijft een VMI-programma als een toepassing die teruggrijpt op VMI-software die op zijn beurt in staat is de vraag van een ziekenhuis naar voorraden te voorspellen. In dit model worden orders gegenereerd op basis van een economische berekening van de bestelhoeveelheid, waarbij rekening wordt gehouden met de veiligheidsvoorraad, doorlooptijd, seizoensgebondenheid en uitzonderlijke vraag. De informatiestroom verloopt via elektronische gegevensuitwisseling (EDI), waardoor de kosten voor gegevensverzameling en communicatie worden verminderd. Door de aanmaak van inkooporders over te dragen aan de distributeur zijn de kosten en de fouten bij de handmatige aanmaak van inkooporders geëlimineerd. Er werden vaak fouten gemaakt bij het handmatig matchen van inkooporders met facturen, zoals het toepassen van verouderde prijzen bij het matchen van facturen, het genereren van ongenummerde inkooporders, het toestaan van directe bestellingen van verschillende afdelingen in plaats van centralisatie en het hebben van verschillende bestelmethodeën op verschillende afdelingen.

VMI wordt toegepast in verschillende industrieën, van de detailhandel in consumptiegoederen, de automobieliindustrie, landbouwdiensten, de farmaceutische industrie tot gezondheidszorgsystemen zoals een geïntegreerd bezorgingssysteem voor meerdere ziekenhuizen (Haavik, 2000). Een van de

meest genoemde voordelen is de mogelijkheid om voorraden en leveringen via VMI beter te plannen, maar dit geldt enkel aan de kant van de stroomopwaartse schakels in de supply chain. Voor de leden stroomafwaarts is VMI een manier om activiteiten uit te besteden door de traditionele last van het voorraadbeheer stroomopwaarts in de toeleveringsketen te verschuiven (Fry M.J., Kapuscinski R., & Olsen, 2001).

De belangrijkste doelstellingen van VMI zijn het verlagen van het voorraadniveau en het tegelijkertijd verbeteren van het serviceniveau. Deze twee doelstellingen komen in het gedrang bij traditionele voorraadsystemen omdat zowel de detailhandelaar als de leverancier een bepaald voorraadniveau in hun eigen magazijnen aanhouden om de beschikbaarheid van het product te garanderen. Het aanhouden van veiligheidsvoorraden is een traditionele manier om het optreden van stock-outs te minimaliseren. De kosten van het aanhouden van de voorraad en het niveau van de klantenservice zijn gewoonlijk negatief gecorreleerd. Verlaging van het voorraadniveau en verhoging van het serviceniveau kunnen dus onmogelijk tegelijkertijd worden bereikt met traditionele managementtechnieken. VMI elimineert deze beperking van het traditionele beheer (Levy M. & Grewel, 2000). Deze doelstellingen worden ook beaamd door het onderzoek van Waller M., Johnson M.E., & Davis (1999). Door VMI wordt de informatiestroom en als gevolg daarvan de materiaalstroom ordelijker, waardoor het serviceniveau, de voorraad- en transportkosten, de coördinatie van het bevoorradingproces en de optimalisatie van het transport verbeteren. In het VMI-systeem elimineert de detailhandelaar de voorraadkosten. De leverancier verlaagt ook zijn of haar voorraadkosten en verhoogt het serviceniveau door de voorraad van de detailhandelaar te controleren volgens zijn eigen belang bij het plannen van productie, levering, opslag en bevoorrading in een win-win relatie (Levy M. & Grewel, 2000).

Dong Y. & Xu (2002) onderzoeken de effecten van VMI op de prestaties van een toeleveringskanaal, met inbegrip van de winsten van de klant en de leverancier. Zoals verwacht laten de analytische modellen zien dat VMI de winst van de klant in ieder geval verbetert, maar dat de voordelen voor de leverancier variëren afhankelijk van de duur van de VMI-implementatie. Het kortetermijneffect van VMI is schadelijk voor de winst van de leverancier wegens de hogere voorraadkosten. Op lange termijn kan de leverancier echter gunstige resultaten van VMI behalen door de toegenomen vraag van de klant (het ziekenhuis). Dit resultaat impliceert dan ook dat het noodzakelijk is bepaalde gunstige elementen voor de leverancier in rekening te nemen, zoals het verhogen van de aankoopprijs aan het begin van de VMI-implementatie, om het verlies van de leverancier als gevolg van de hogere voorraadkosten te compenseren.

Een ander voordeel van VMI kadert in het zich voordoen van SCM-verstoringen, die het gevolg zijn van gebrekkige communicatie tussen verschillende partijen in de supply chain. VMI kan in deze context namelijk leiden tot het halveren van het bullwhip-effect. Disney & Towill (2003 (b)) onderzoeken het effect van VMI op het bullwhip-effect; het scenario waarbij de orders aan de leverancier grotere schommelingen vertonen dan de klantenvraag, een verstoring die zich in toenemende mate stroomopwaarts voortplant. Disney & Towill (2003 (a)) beweren dat VMI het bullwhip-effect vermindert door vertragingen in de informatie- en materiaalstroom weg te werken en

door stroomopwaartse stromen (bijvoorbeeld informatiestromen, financiële stromen of goederenstromen) te elimineren. Het in hun onderzoek gedefinieerde VMI-systeem vertegenwoordigt de toeleveringsketen, waarin de leverancier voorraad informatie en point-of-sales-gegevens rechtstreeks van zijn klanten ontvangt. Op basis van de feitelijke verkoop- en voorraad informatie bepaalt de leverancier dynamisch het nabestelpunt door het verkoopsignaal exponentieel af te vlakken en bij elke distributeur een passend klantenserviceniveau in te stellen. De resultaten tonen ook aan dat het bullwhip-effect, veroorzaakt door prijschommelingen of promotie, aanzienlijk kan worden verminderd door gebruik te maken van VMI.

Disney & Towill (2003 (b)) gaan in op de vraag wie de voorraadniveaus moet bepalen, de detailhandelaar die bang is voor stock outs of de verkoper die de detailhandelaar economisch wil bevoorraden. De auteurs verdelen de verantwoordelijkheid tussen de detailhandelaar, die de maximale en minimale voorraadniveaus moet specificeren en de verkoper, die binnen die grenzen moet aanvullen zonder te overladen.

Tabel 2 bevat een samenvatting van de voordelen en risico's van VMI (voor detailhandelaar en verkoper) die in het literatuuronderzoek van Guimarães et al. (2013) zijn gevonden.

Tabel 2: Voordelen en risico's van VMI voor beide partijen gebaseerd op Guimarães et al. (2013)

Detailhandelaar (ziekenhuis)		Leverancier	
Voordelen van VMI	Nadelen van VMI	Voordelen van VMI	Nadelen van VMI
Minder voorraad en kosten	Informatie-uitwisseling maakt opportunistisch gedrag mogelijk	Meer voorraad-flexibiliteit	Communicatie-problemen
Minder stock-outs	Afhankelijkheid van leverancier	Minder variabiliteit in doorlooptijd	Initiële technologie-investering
Verhoging serviceniveaus	Overschakelingskosten	Consistent bestelpatroon	Moeilijkheden bij de integratie van technologie
Verbetering vullingsgraad		Minder transportkosten	
Verhoging in voorraad omloopsnelheid		Optimalisering van fysieke distributie	
Vermindering van bestel- en planningskosten		Verhoogde efficiëntie van het magazijn	
Relatie met concurrentievoordeel		Real-time toegang tot informatie	

Sommige auteurs hebben door middel van studies in een toeleveringsketen met één leverancier en één detailhandelaar aangetoond dat de voordelen voor de detailhandelaar veel kleiner zijn dan die voor de leverancier op lange termijn en dat de detailhandel moet worden aangemoedigd om deel te nemen aan het delen van informatie (Yu, Yan, & Cheng, 2002). Door de voordelen voor beide partijen te onderzoeken, geven de bevindingen van Lee & Chu (2005) aan dat VMI voor beide partijen voordelig is als het door de leverancier gewenste voorraadniveau bij de detailhandelaar hoger is dan het door de detailhandelaar gewenste niveau, waardoor de voorraadbeslissingen binnen een VMI-context aan de leverancier wordt overgelaten.

Van de twee componenten van VMI (delen van informatie en besluitvorming) is het de component van het delen van informatie die prestatievoordelen oplevert (bijvoorbeeld voorraadverminderingen, minder voorraadtekorten), eerder dan de component van de overdracht van besluitvorming (Dong et al., 2010). Disney, Naim, & Potter (2004) stellen dat hoe eenvoudiger het informatiesysteem is dat wordt gebruikt, hoe doeltreffender VMI kan zijn. Niettemin verhindert een slechte besluitvorming met betrekking tot de VMI-risico's, beide partijen om van de voordelen van VMI te genieten.

Ondanks de hierboven geciteerde voordelen van VMI, is de zorgsector enigszins terughoudend ten opzichte van de implementatie hiervan. McKone-Sweet, Hamilton, & Willis (2005) wijzen op een aantal barrières zoals het gebrek aan steun van het management, verkeerde afstemming tussen de spelers of belangenconflicten, nood aan gegevensverzameling en prestatiemeting, beperkte opleiding over supply chain en inconsistente relaties tussen groepsaankooporganisaties en supply chain partners. Samuel, Gonapa, Chaudhary, & Mishra (2010) bespreken nog enkele andere barrières voor efficiëntie in supply chains zoals conflicterende doelen, gebrek aan SCM vaardigheden en kennis, technologie die evolueert, voorkeuren van artsen, gebrek aan gestandaardiseerde codes en beperkte informatiedeling. De studie van deze auteurs suggereert dat de grote terughoudendheid van zorgverleners ten opzichte van VMI te wijten is aan een gebrek aan opleiding en informatie over de voordelen. Stadtler & Kilger (2008) stellen dat er nog steeds een gebrek aan vertrouwen is in het supply chain proces binnen de gezondheidszorg. Veel ziekenhuizen blijven het VMI-systeem verwerpen, waardoor ze meer voorraden in het magazijn houden.

VMI lijkt gemakkelijker te implementeren in het voorraadbeheer van farmaceutische producten dan bij andere medische producten, deels dankzij de kennis van farmaceutische leveranciers over materiaalbeheer, de vertrouwdheid met informatietechnologieën (IT) en de succesvolle voorbeelden van de implementatie van VMI uit deze industrie (Kim, 2005). In feite heeft de farmaceutische sector strategisch gebruik gemaakt van IT-oplossingen in SCM, van logistieke processen zoals cross-docking tot VMI, waarbij het bevoorradingsproces wordt gestroomlijnd (Shih, Rivers, & Hsu, 2009). Echter kan de integratie van de toeleveringsketen worden belemmerd enerzijds door het ontbreken van normen voor het delen van informatie en anderzijds doordat bepaalde producten door hun specifieke eigenschappen niet kunnen opgenomen worden in samenwerkingsverbanden (Kim, 2005).

Het integreren van VMI in een ziekenhuiscontext verloopt niet altijd even vlot en botst vaak op enkele beperkingen. Een ziekenhuis kan wel naar de farmaceutische sector kijken om over toepassingen en

integratie van VMI te leren. Naast enkele nadelen, biedt VMI zowel voordelen voor het ziekenhuis als voor de leverancier, waardoor hogere optimalisatie bereikt kan worden.

3.4.2 Groepsaankooporganisaties (GPO)

Een tweede mogelijkheid om de efficiëntie van voorraadbeheer bij ziekenhuizen te verhogen is door middel van groepsaankooporganisaties (GPO). Coöperatieve inkoop is de horizontale samenwerking tussen twee of meer organisaties in een of meer stappen van het inkoopproces, door het bundelen en/of delen van hun inkoopvolumes, informatie, markt- en vraagrisico's en/of middelen (L. R. Burns & Lee, 2008). De daaruit voortvloeiende initiatieven hebben geleid tot een grote verscheidenheid aan coöperatieve organisaties, gaande van informele regelingen tot formele uitbesteding aan derden, meer bepaald groepsaankooporganisaties (GPO's) (Bakker, Walker, Schotanus, & Harland, 2008).

Tabel 3 bevat een overzicht van de voor- en nadelen van GPO's die het vaakst worden genoemd in de literatuur.

Tabel 3: Voor- en nadelen van GPO op twee niveaus gebaseerd op Rego et al. (2014)

Op individueel lid-niveau		Op groepsniveau/supply chain	
Voordelen van GPO	Nadelen van GPO	Voordelen van GPO	Nadelen van GPO
Vermindering van inkoopgerelateerde kosten	Standaardisatie vermindert het vermogen om te voldoen aan de behoeften van gedecentraliseerde gebruikers	Consolidatie van de aankoopvolumes maakt het mogelijk gunstigere voorwaarden te onderhandelen met de leveranciers	Coördinatiekosten
Besparingen op personeelsvlak	Geringere innovatiecapaciteit	Vermindering van inkoopinspanningen	
Meer informatie over de toeleveringsmarkten	Lager reactievermogen	Ontwikkeling van inkoopexpertise	
Meer aandacht voor operationele kernactiviteiten		Standaardisatie en consolidatie van inkoopvolumes vergroten de schaalvoordelen	
		Beter vermogen om te reageren op grootschalige noodsituaties	

Inkoopgroepen komen veel vaker voor in de publieke sector en een belangrijk deel van het bestaande onderzoek naar coöperatieve inkoop richt zich op GPO's in de gezondheidszorg. In het algemeen kunnen de resultaten van andere sectoren worden getransponeerd naar de gezondheidszorg, maar de bijzondere kenmerken van deze sector vereisen wellicht een specifieke analyse (Essig, 2000).

De omvang van het inkoopverband kan een aanzienlijke invloed hebben op zijn financiële prestaties. De betrokkenheid van veel leden kan leiden tot hogere oprichtings- en transactiekosten, maar anderzijds kan de betrokkenheid van weinig leden leiden tot kleinere schaalvoordelen. Uit onderzoek is evenwel gebleken dat er bij de inkoop binnen de gezondheidszorg geen rechtstreeks verband bestaat tussen grotere volumes en lagere prijzen (Ellison & Snyder, 2011).

Hoewel coöperatieve inkoopinitiatieven op grote schaal worden toegepast, is er zeer weinig onderzoek gedaan naar de geïntegreerde analyse van de vorming van inkoopcombinaties en de coördinatie van de toeleveringsketens van de samenwerkende organisaties. Rego et al. (2014) koppelen de evaluatie van de potentiële inkoopcombinaties aan een optimalisatieprocedure om hun gemeenschappelijke supply chain-configuratie te bepalen. Deze integratie houdt niet alleen rekening met de meest erkende voordelen van samenwerking, zoals het verkrijgen van hoeveelheidskortingen of besparingen op transactiekosten en administratieve kosten, maar ook met andere mogelijke synergieën in de toeleveringsketen, die bijvoorbeeld kunnen worden bereikt door het samenvoegen van voorraden, het lateraal overslaan van voorraden of het consolideren van de distributie. Bovendien ondersteunt het de operationalisering van bestaande toeleveringsketens naar de nieuwe coöperatieve situatie.

Het volledige succes van samenwerkingen wordt vaak belemmerd door problemen op het gebied van communicatie, leiderschap of bemiddeling bij conflicterende belangen (Bhakoo, Singh, & Sohal, 2012), of door vermoedens over de eerlijke verdeling van kosten en baten van de samenwerkingsprocessen (Ford, Wells, & Bailey, 2004). Communicatieproblemen en de toewijzing van besparingen zijn twee van de belangrijkste moeilijkheden bij het opzetten van coöperatieve inkoopinitiatieven (Schotanus & Telgen, 2007). In de gezondheidszorg kunnen deze moeilijkheden groter zijn, aangezien de toeleveringsketen wordt beheerd via een complexe bevelslijn, gebaseerd op een gevoelig evenwicht van machtsverhoudingen tussen verschillende hoog opgeleide beroepsgroepen (managers, artsen, verpleegkundigen, apothekers) die in autonome eenheden werken (Vries, Bertrand, & Vissers, 1999). Het systeem is ook sterk afhankelijk van de rol die artsen spelen, aangezien zij langetermijnrelaties ontwikkelen met leveranciers en voorkeuren hebben voor specifieke materialen en producten, die bijvoorbeeld het gevolg zijn van hun opleiding aan specifieke medische scholen (Rego et al., 2014).

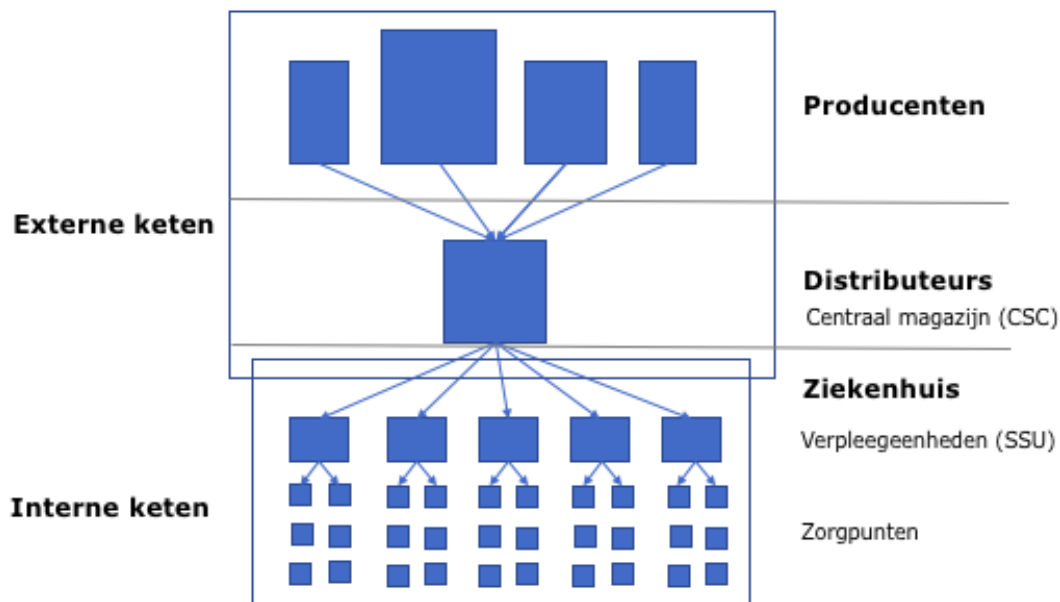
De kennis over de toeleveringsketen en het bewustzijn van de gevolgen van bepaalde beslissingen voor de werking ervan, kan de bereidheid om deel te nemen aan coöperatieve inkoopinitiatieven verhogen (Donk, 2003). Bovendien, zoals benadrukt door Ford et al. (2004) kan inzicht in welke individuele deelnemers te verliezen of te winnen hebben binnen een bepaald samenwerkingsinitiatief kritieke inzichten opleveren in de vooruitzichten voor het succes van een project.

L. R. Burns & Lee (2008) voerden een onafhankelijk onderzoek uit bij materiaalmanagers van ziekenhuizen in de VS naar hun gebruik van nationale inkoopallianties. De resultaten toonden aan dat GPO's de stijgende kosten in de gezondheidszorg helpen beheersen door de productprijzen op twee manieren te verlagen: (1) door de gezamenlijke inkoop van ziekenhuizen die producten inkopen op basis van nationale contracten en (2) door het vaststellen van prijsplafonds waaronder ziekenhuizen zelf kunnen onderhandelen. Zij concludeerden tevens dat allianties ziekenhuizen ook financieel voordeel kunnen opleveren doordat zij de transactiekosten verlagen.

Samenvattend kan worden gesteld dat eerder onderzoek heeft bevestigd dat coöperatieve inkoop de kosten in verband met de inkoopactiviteiten van ziekenhuissystemen aanzienlijk kan verlagen. Het is belangrijk om bij de GPO-analyse rekening te houden met het perspectief van de toeleveringsketen en om potentiële samenwerkingsprocessen goed voor te bereiden. Dit door mogelijke vormen van samenwerking en de gevolgen ervan voor de groep en ook voor de individuele deelnemers te analyseren en erover te onderhandelen, zodat de stimulansen en de doelstellingen goed op elkaar kunnen worden afgestemd. Aangezien de omvang en de kenmerken van de GPO van invloed kunnen zijn op de omvang en de aard van de bereikte voordelen, moet in modellen, om de vorming van GPO's te analyseren, met deze aspecten rekening worden gehouden (Rego et al., 2014).

3.4.3 Centralisatie van voorraadbeheer

In een traditioneel voorraadbeheermodel ontvangt het ziekenhuismagazijn de volle palletten, verdeelt ze in kleinere hoeveelheden en slaat de producten op tot een afdeling ze nodig heeft. In dit model is er een grote hoeveelheid voorraad in het systeem. Hierdoor blijft het aantal leveringen relatief laag, wat de transport- en bestelkosten laag houdt. Maar er zijn hoge kosten verbonden aan zowel het aanhouden van de voorraad als de aanzienlijke hoeveelheid materiaal die moet worden verwerkt (Rossetti et al., 2012). Wegens de recente economische crisissen en het grote aandeel van de uitgaven voor geneesmiddelen in de kosten van de gezondheidszorg, is de centralisatie van magazijnen, die eigendom zijn van en beheerd worden door meerdere ziekenhuizen, een trend in de toeleveringsketen (Leaven et al., 2017). In het centralisatiemodel verzenden de leveranciers rechtstreeks naar het centrale magazijn, het Central Service Center (CSC). De materialen worden vervolgens vanuit het CSC rechtstreeks naar de ziekenhuisafdelingen van de verschillende ziekenhuizen verzonden, die strategische service-eenheden (SSU) worden genoemd. Wanneer de ziekenhuizen niet dicht genoeg bij het CSC gelegen zijn, worden de materialen op een tussenliggende locatie gedockt (Rossetti et al., 2012). Figuur 11 illustreert dit model.



Figuur 10: Centralisatiemodel gebaseerd op Rossetti et al. (2012)

In een centralisatiemodel neemt het CSC de volledige verantwoordelijkheid op zich voor de materiaalbehandeling en het voorraadbeheer. Het CSC ontvangt zendingen van de leveranciers, die vervolgens worden opgedeeld, herverpakt, van een streepjescode voorzien en opgeslagen. Het CSC ontvangt elke avond via de centrale server de orders voor de vraag van de volgende dag. Deze orders verschijnen op de picklijst en worden gepickt, gesorteerd, verpakt op basis van hun bestemming, en 's ochtends vroeg verzonden. De vrachtwagens keren aan het eind van de dag terug naar het CSC (Rossetti et al., 2012). In dit model worden de holdingkosten en de kosten voor materiaalverwerking sterk verminderd, de efficiëntie neemt toe en de vulpercentages verbeteren. Integratie van de toeleveringsketen in de gezondheidszorg kan worden bereikt door centralisatie van medische benodigdheden of door uitbesteding aan een derde logistieke dienstverlener. Er moet echter een afweging worden gemaakt tussen voorraadkosten, bestelkosten en de kosten van de invoering van de nieuwe technologie (Moons et al., 2019).

Daarnaast levert centralisatie van voorraadbeheer niet enkel voordelen, maar ook enkele nadelen. Zo kunnen er communicatieproblemen ontstaan doordat diegenen die voorraadbeslissingen nemen ver verwijderd zijn van de werknemers in de zorgafdelingen. Dit komt neer op het zelden plaatsvinden van face-to-face-communicatie tussen de besluitvormers en de werknemers. Bovendien zorgt centralisatie ook voor hogere overheadkosten, trage reacties op specifieke afdelingsaanvragen en het ontbreken van voldoende informatie-uitwisseling (Keskittämisen, Työntekijän, Olander, & Tuominen, 2015).

Tabel 4 bevat een overzicht van de voor- en nadelen van centralisatie van voorraadbeheer die worden genoemd in de literatuur.

Tabel 4: Voor- en nadelen van centralisatie van voorraadbeheer

Voordelen van voorraadbeheer centralisatie	Nadelen van voorraadbeheer centralisatie
Vermindering van holdingkosten en kosten voor materiaalverwerking	Communicatieproblemen
Grotere efficiëntie	Hogere overheadkosten
Verbetering van vulpercentages	Trager reactievermogen
	Beperkte informatie-uitwisseling

Iannone, Lambiase, Miranda, Riemma, & Sarno (2015) stellen een logistiek netwerk voor dat een centrale apotheek integreert die onderhandelt met leveranciers, ziekenhuisbestellingen verzamelt, evenals materialen opslaat en verdeelt. Veel ziekenhuizen werken echter met een niet-coöperatief voorraadbeheersysteem. De auteurs van deze studie hebben de kostenprestaties van het door hen ontwikkelde coöperatieve model vergeleken met een niet-coöperatief model via simulatie. De resultaten van de simulatie geven aan dat er vaak een aanzienlijke kostenbesparing wordt bereikt als ziekenhuizen volgens het coöperatieve model werken, zelfs als er geen hoeveelheidskortingen beschikbaar zijn.

3.4.4 Uitbesteden van voorraadbeheer

Het toenemende aantal bedrijven dat niet-kernactiviteiten, zoals voorraadbeheer, uitbesteedt, is zo ook in de gezondheidszorg toegenomen. Hoewel er geen consensus bestaat over de ideale mix van in-house en uitbestede diensten in de zorgsector, wordt er toch vaak een beroep gedaan op externe logistieke dienstverleners (Paltriccia & Tiacci, 2016). Het uitbesteden van logistieke activiteiten, waaronder het beheer van voorraadartikelen aan logistieke dienstverleners, wordt third-party logistic service providers (3PL) genoemd (Nicholson, Vakharia, & Selcuk Erenguc, 2004). Bij een uitbestedingsproces worden de goederen rechtstreeks op de plaats van verzorging afgeleverd door een derde partij. De externe logistieke dienstverlener zorgt dan voor de rest van de logistieke taken om aan de behoeften van de verschillende afdelingen te voldoen. Een continue informatiestroom tussen het ziekenhuis en de 3PL is een belangrijke voorwaarde voor de werking van dit model. Het aanbod moet correct op de vraag worden afgestemd met behulp van informatie die beide partijen delen (Rivard-Royer et al., 2002).

De belangrijkste drijfveer voor uitbesteding is het behouden van een concurrentievoordeel door kosten te verlagen en te focussen op kerncompetenties. De meeste relevante voordelen voor outsourcing in de gezondheidszorg zijn de volgende: kostenreductie, risicobeperking en het aanpassen aan snelle veranderingen zonder interne middelen in gevaar te brengen (Paltriccia & Tiacci, 2016).

Outsourcing brengt in een ziekenhuiscontext niet alleen voordelen maar ook enkele risico's met zich mee. Zo is het grootste ondervonden nadeel door zorgwerknemers het verliezen van controle en flexibiliteit. Ze zijn namelijk meer afhankelijk van de leverancier dan zonder outsourcing. Daarnaast

kan de derde partij ook mindere resultaten leveren dan verwacht. Er kunnen zich nalevingsovertredingen voordoen en het ziekenhuis verliest bepaalde logistieke interne vaardigheden. Het nalevingsniveau van contracten en afspraken door de derde partij is een factor die het ziekenhuis niet onder controle heeft (Roberts, 2001).

Tabel 5 bevat een overzicht van de voor- en nadelen van outsourcing voorraadbeheer die worden genoemd in de literatuur.

Tabel 5: voor- en nadelen van outsourcing voorraadbeheer

Voordelen van uitbesteden	Nadelen van uitbesteden
Kostenreductie	Verliezen van controle en flexibiliteit
Focussen op kerncompetenties	Risico op nalevingsovertredingen
Risicobeperking	Verlies van interne logistieke vaardigheden
Mogelijkheid voor snelle aanpassingen zonder risico voor eigen middelen	

Paltriccia & Tiacci (2016) stellen een nieuwe aanpak voor het uitbesteden van materiaalbeheer voor operatiekamers in ziekenhuizen voor. Het concept onderscheidt zich door twee kenmerken: een langdurig samenwerkingsnetwerk tussen toeleveringsbedrijven (de "netwerkfactor"), en het gebruik van RFID-technologie in de toeleveringsketen (de "RFID-factor"). Gebleken is dat deze geïntegreerde toeleveringsdienst goedkoper is dan eerdere modellen en toch een aanvaardbare patiëntenzorg biedt. Als gevolg daarvan zijn aanzienlijke besparingen op de voorraadkosten mogelijk. Tegelijkertijd kunnen dankzij het samenwerkende netwerk van leveranciers de transportkosten worden gedeeld, met als gevolg een verlaging van de individuele transportkosten. De RFID-component zorgt er ook voor dat alle goederen kunnen worden getraceerd zonder de werklast van het verplegend personeel te verhogen.

De lat voor het overdragen van niet-kritische voorraadartikelen naar outsourcing wordt steeds lager gelegd. Een van de belangrijkste redenen hiervoor is de aanzienlijke voorraadinvestering die in de gezondheidssector vereist is. Deze bedraagt tussen 10% en 18% van de netto-omzet. Het uitbesteden van logistieke activiteiten verbetert niet enkel de interne prestaties maar kan ook resulteren in een grotere tevredenheid van patiënten en het ervaren van meer kwaliteitsvolle zorg. Voor kritische voorraadartikelen ligt de drempel iets hoger door het verlies aan flexibiliteit bij outsourcing ondervonden door het ziekenhuis (Jarett, 1998). Het toenemende aanbod van logistieke dienstverleners in de medische sector is een derde element dat de drempel voor het uitbesteden van logistieke activiteiten verlaagt. In korte tijd hebben deze gespecialiseerde logistieke ondernemingen veel succes geboekt in de medische industrie. Bovendien verlaagt uitbesteding van logistiek aan 3PL-bedrijven volgens Nicholson et al. (2004) de voorraadkosten en verbetert het serviceniveau.

Veral & Rosen (2001) kwamen tot dezelfde bevindingen. Ze hebben namelijk drie elementen geïdentificeerd die bijdragen tot het uitbesteden van voorraden in toeleveringsketens in de gezondheidszorg. Om te beginnen investeert de gezondheidszorg elk jaar veel in voorraden. Als

gevolg hiervan zullen kostenbesparingen op het gebied van voorraadbeheer onmiddellijk leiden tot een hogere winstgevendheid. Ten tweede geven de meeste zorgverleners prioriteit aan het handhaven van de kwaliteit van de dienstverlening, zowel intern als extern. Zoals blijkt uit de serviceniveaus, kan een verschuiving naar het uitbesteden van voorraden de interne prestaties helpen verbeteren. Ten derde heeft een groot aantal externe leveranciers zijn intrede gedaan op de gezondheidszorgmarkt en succes geboekt. Door voorraadloze voorraadbeheerdiensten aan te bieden, hebben veel specifieke dienstverleners in de gezondheidszorg vertrouwen verworven. Toch moet nog worden geanalyseerd of het uitbesteden een kosteneffectieve en kwaliteitsbevorderende optie is op het niveau van het individuele ziekenhuis.

Het uitbesteden van logistieke activiteiten is in wezen vergelijkbaar met gecentraliseerde voorraadbeheersystemen (zie sectie 3.4.3). In beide gevallen wordt het pull-mechanisme gebruikt. Bij uitbesteding wordt een derde partij bij het systeem betrokken, waardoor verschillende interne netwerkentiteiten niet langer nodig zijn. De derde partij distribueert de ziekenhuisbenodigdheden rechtstreeks naar een specifieke afdeling. Bij centralisatie van voorraadbeheer kunnen ziekenhuisbenodigdheden daarentegen intern worden gecentraliseerd zonder tussenkomst van een derde partij. Om een dergelijk gecentraliseerd systeem goed te laten functioneren, is een goed gecoördineerd informatiesysteem vereist (Leaven et al., 2017).

3.4.5 ERP-systemen

Om de kosten te drukken, integreren verschillende ziekenhuizen meer en meer logistieke toepassingen in het zorgverleningsproces. Zoals eerder gezegd in deze masterproef, is een goed gecoördineerd informatiesysteem van essentieel belang. Informatiesystemen (IS), zoals Enterprise Resource Planning (ERP)-systemen, kunnen managers helpen bij het structureren van hun centrale planning en controle, waardoor deze verandering wordt vergemakkelijkt. ERP-systemen zijn softwaretoepassingen die een verscheidenheid aan bedrijfsactiviteiten integreren in een verenigde informatiearchitectuur om een totaalbeeld van de organisatie te bieden (Boonstra & Govers, 2009). Het doel is om alle bedrijfsactiviteiten te verenigen door hun planning en controle te centraliseren (Axline, Markus, Petrie, & Tanis, 2000). ERP-systemen maken de integratie van inter-organisatorische toeleveringsketens mogelijk. Ze bevatten een breed scala aan activiteiten, waaronder logistiek, human resources en financiën, te beginnen met productie en financiële systemen. Deze functies zijn met elkaar verbonden, zodat wanneer gegevens in één ervan worden ingevoerd, zij beschikbaar zijn voor alle andere. Ze zijn gemaakt om processen te integreren, standaardiseren en automatiseren, zowel binnen als tussen de waardeketens van ondernemingen. De voordelen van ERP-systemen liggen voor de hand: managers kunnen betere beslissingen nemen, de communicatiekosten zijn lager, informatie-uitwisseling verloopt vlotter en bedrijven worden meer geïntegreerd en samenhangend (de Vries & Huijsman, 2011).

Bedrijven uit andere sectoren maken vaker gebruik van ERP-systemen dan de gezondheidszorg, toch kan een ERP-toepassing de gezondheidszorgorganisaties helpen om verschillende ziekenhuisfuncties, zoals human resource management, product en patiënt scheduling, ziekenhuis besluitvorming en workflow management te integreren (Utami, Puspitasari, & Saputra, 2020). Correcte

gegevensintegratie en scheduling maakt een grotere optimalisatie van distributie en voorraadbeheer mogelijk. De laatste jaren hebben steeds meer ziekenhuizen de overstap gemaakt naar een ERP-systeem. Een mogelijke verklaring hiervoor is de algemene ontwikkeling van meer ziekenhuisgebaseerde systeemtoepassingen (Haux, 2006).

In een gecompliceerde omgeving als een ziekenhuis is een succesvolle invoering en installatie van een ERP-systeem zelden gegarandeerd. Verschillende problemen, die vaak over het hoofd worden gezien, kunnen een aanzienlijke invloed hebben op de goede werking van het ERP-systeem. De inconsistentie tussen de kenmerken van het ziekenhuis en het ERP-systeem is een veel voorkomend probleem (Axline et al., 2000). Deze kan worden veroorzaakt door een verscheidenheid aan factoren, waaronder de complexiteit van de werking van een ziekenhuis. Hierdoor kunnen processen moeilijk te definiëren zijn in een ERP-systeem, wat resulteert in het ondervinden van praktische problemen tijdens de implementatie. De belanghebbenden en hun belangen vormen een ander probleempunt. Ziekenhuizen moeten omgaan met een enorm aantal stakeholders die verschillende afdelingen en belangen vertegenwoordigen. Verschillen tussen de geplande ERP-installatie-uitkomsten en gevestigde organisatorische kenmerken kunnen leiden tot weerstand van deze belanghebbenden. Vanwege de grote diversiteit aan belangen, ziekenhuisafdelingen, machtsverhoudingen, mate van onafhankelijkheid, en andere specifieke omstandigheden, zal een ziekenhuis dat geen rekening houdt met de verschillende stakeholders en deze laatsten integreert in het ERP-systeem ernstig belemmerd worden in de implementatie van het systeem door de stakeholders (Boonstra & Govers, 2009).

Tabel 6 bevat een overzicht van de opportuniteiten en uitdagingen van het hebben/gebruiken van een geïntegreerd ERP-systeem in een ziekenhuiscontext die worden genoemd in de literatuur.

Tabel 6: Opportuniteiten en uitdagingen van een ERP-systeem

Opportuniteiten van ERP	Uitdagingen van ERP
Betere beslissingen door managers	Inconsistentie tussen ERP en ziekenhuis
Lagere communicatiekosten	Variatie aan belanghebbenden en hun belangen
Vlottere informatie-uitwisseling	
Meer interne samenhang en integratie in een bedrijf/ziekenhuis	
Ondersteuning van voorraadbeslissingen	

In de literatuur zijn de effecten van ERP specifiek op het voorraadbeheer en distributie nog niet onderzocht. In het algemeen kan wel gesteld worden door literatuur uit andere sectoren dat een ERP-systeem functies bevat om de veiligheidsvoorraad en het reorder punt te berekenen voor elk artikel in de database op basis van de vraaggeschiedenis van het artikel. Een ERP-systeem biedt manieren om de vraaggeschiedenis te analyseren, aanbevelingen te doen en veiligheidsvoorraadniveaus voor te stellen. Vooral de betere informatie-uitwisseling die voortkomt uit een ERP-toepassing, leidt tot een optimaler voorraadbeheer. Logistieke managers in een ziekenhuis zouden bij deze beslissingen geholpen kunnen worden door ERP (Razi & Tarn, 2003).

Hoofdstuk 4: Distributie in het ziekenhuis

Dit hoofdstuk focust op het distributieproces binnen een ziekenhuis. Sectie 4.1 begint met het geven van een definitie van het begrip. Daarna beschrijft sectie 4.2 de distributie van medicijnen in een ziekenhuis. Vervolgens analyseert sectie 4.3 de distributie van steriel materiaal. Tenslotte bespreekt sectie 4.4 optimalisatiemogelijkheden voor distributieprocessen binnen de ziekenhuiscontext. Aan het einde van dit hoofdstuk zal duidelijk zijn hoe de distributie in een ziekenhuis werkt, wat de reeds bestaande systemen zijn voor bepaalde producten en waar optimalisatie mogelijk is.

4.1 Interne distributieproces in een ziekenhuis

Logistieke activiteiten op het gebied van medische bevoorrading zorgen voor de goede werking van het gezondheidszorgsysteem. Bovendien zijn de prestaties van het logistiek systeem van grote invloed op de kwaliteit van de zorgverlening. Een verschil tussen vraag (bijvoorbeeld de behoefte aan zorg) en aanbod (bijvoorbeeld zorgproducten en medicatie) leidt vaak tot wachttijden in het ziekenhuis als gevolg van een gebrek aan planning, coördinatie en communicatie bij de distributie van zorgproducten. Coördinatie van de zorgmiddelen, effectieve leveringsstrategieën en correctheid van de leveringsdiensten zijn van cruciaal belang voor het creëren van kwaliteitsvolle prestaties. Het ziekenhuis supply chain management moet dus distributiestrategieën ontwikkelen (b.v. directe verzending, cross-docking, etc.) om de goederenbewegingen in de supply chain optimaal te beheren, terwijl de opslag- en transportkosten geminimaliseerd worden. De logistieke afdeling van een ziekenhuis is verantwoordelijk voor het beschikbaar hebben van geneesmiddelen en andere medische voorraden in de zorginstelling, terwijl zij zich bewust zijn van de distributiekosten (met inbegrip van de verwerkings- en transportkosten) (Moons et al., 2019).

Een ziekenhuis bevat een complex intern distributieproces met een grote diversiteit aan stromen van medische benodigheden over de verschillende afdelingen en verpleegeenheden. Ziekenhuizen zijn over het algemeen gestructureerd rond klinische afdelingen zoals spoedgevallen, intensieve zorgen, oncologie en cardiologie. Elke afdeling beschikt over zijn eigen verpleegunits met een vast aantal bedden. Deze afdelingen moeten ter ondersteuning van de patiëntenzorg medische producten bij de hand hebben (Landry & Beaulieu, 2013).

Er zijn verschillende interne logistieke stromen te onderscheiden: de aanvoer van schoon linnen, voedsel, medische producten/instrumenten en medicijnen (deze masterproef focust zich op aanvoer van de twee laatste); het ophalen van afval, vuil linnen, voedselbakjes; en het vervoer van patiënten van/naar consulten, medische beeldvorming en operaties. De diversiteit van deze logistieke stromen, elk met zijn eigen specifieke regels en complexiteit, maakt het beheer van dit proces tot een ingewikkelde taak. Interne distributiebeslissingen kunnen onder andere met behulp van het dynamisch pickup and delivery problem (DPDP) aangepakt worden. DPDP's zijn een klasse van rittenplanningsproblemen die zich richten op goederen die moeten worden opgehaald van en geleverd aan specifieke locaties door een vloot van voertuigen. De organisatie van logistieke transporten in ziekenhuizen past natuurlijk binnen deze probleemklasse. Bovendien maken de aspecten die worden opgelegd door het ziekenhuisbeleid en -beheer het tot een uitdagende variant.

Zo kunnen bepaalde routes of gangen in een ziekenhuis bijvoorbeeld uitgesloten zijn voor patiëntenvervoer, terwijl ze wel zijn toegestaan voor goederentransport. De transporttijd is dus afhankelijk van wat er precies wordt vervoerd. Het dynamische aspect van het probleem is ook van specifiek belang, omdat het gekenmerkt wordt door een relatief hoge aankomstfrequentie van verzoeken, geen voorafbepaalde planning en korte transporttijden als gevolg van de korte afstanden tussen ophalingen/afleveringen in een ziekenhuis. Daarom moeten de transportbeslissingen in een relatief korte tijd worden genomen (Vancroonenburg, Esprit, Smet, & Berghe, 2016).

Naast DPDP kan er ook gebruik gemaakt worden van het Traveling salesman problem (TSP) en vehicle routing problem (VRP). Het TSP is een van de meest onderzochte problemen in de managementwetenschap. TSP houdt rekening met één enkel voertuig dat vele locaties van klanten bezoekt alvorens terug te keren naar de faciliteit om nadien de volgende route te doorlopen, waardoor de totale reistijd en afstand worden beperkt. Wiskundige modellen worden gebruikt om de beste oplossingen te vinden voor het traveling salesman problem. De meeste TSP problemen worden echter niet volledig opgelost. Heuristieken worden gebruikt wanneer het probleem zo groot is dat een optimale oplossing onmogelijk te vinden is of wanneer benaderende antwoorden voldoende zijn. VRP onderscheidt zich van TSP door het feit dat het een optimale route kan genereren die door alle klantenlocaties loopt. Het doel van een VRP is de totale kosten of afstand over alle routes minimaliseren. Uit de literatuur blijkt dat deze routeringsproblemen echter niet vaak voorkomen in een ziekenhuiscontext (Haksever, Render, Russell, & Murdick, 2000).

Gezien de complexiteit en de uitdagingen waarmee de gezondheidssector wordt geconfronteerd, is het belangrijk om een vlotte werking tussen de interne distributieketen en de externe keten te bekomen (Landry & Beaulieu, 2013). Om een goed presterende supply chain te bereiken, moeten verschillende afdelingen in de interne supply chain (bijvoorbeeld de centrale sterilisatie, apotheek, operatiekamer en het centraal magazijn) efficiënt en geïntegreerd zijn, wat een grondige operationele planning en coördinatie vereist. Integratie leidt tot gestroomlijnde, kosteneffectieve processen die worden gekenmerkt door optimaal gebruik van ruimte, kostenreductie, standaardisatie en minder annuleringen of vertraagde ingrepen. Door barcode scanning of RFID technologieën toe te passen om de farmaceutische producten of medische voorraden te identificeren, kunnen materiaalbeheerders de distributie versnellen, efficiënt teruggeroepen producten controleren, producten aan patiënten factureren, klinische dossiersystemen bijwerken en de traceerbaarheid van voorraden verbeteren (Moons et al., 2019).

Er zijn twee hoofdbenaderingen voor het plannen van de activiteiten van een leveringssysteem in de gezondheidszorg: voorraadgericht en planningsgericht. De voorraadgerichte aanpak is de overheersende aanpak in de literatuur. Bij de voorraadbenadering wordt telkens wanneer het reorder punt voor een bepaald product in een zorgafdeling wordt bereikt, een signaal naar de centrale voorraad gezonden. De vereiste aanvulhoeveelheid wordt dan naar de zorgafdeling gestuurd. In de tussentijd zorgt het centrale magazijn ook voor zijn voorraad. Wanneer het order-up-to niveau voor een bepaald product is bereikt, worden inkooporders gegenereerd om dit artikel bij een externe leverancier te kopen. De cyclus is voltooid wanneer de bij de externe leveranciers bestelde producten

op de zorgafdeling zijn ontvangen. Voor een efficiënt beheer van een dergelijk voorraadstelsel is een andere aanpak vereist dan het zuivere "reorder point"-model. Er zijn ten minste drie beperkingen voor het gebruik van het reorder punt model in de context van bevoorradingsstelsels in de gezondheidszorg: het model houdt geen rekening met de beperkte menselijke middelen, het houdt geen rekening met de fysieke opslagcapaciteit, in het bijzonder op het niveau van de zorgafdeling, die in de meeste ziekenhuizen van cruciaal belang is en de beslissingen zijn alleen gebaseerd op de kosten, zonder rekening te houden met de voorraadbeheeractiviteiten (Lapierre & Ruiz, 2007).

Ten eerste is het reorder punt niet zuiver toepasbaar in ziekenhuizen, aangezien bezoeken aan zorgafdelingen veel tijd van de werknemers vergen. Om het efficiënter te maken, wordt een rondgang uitgevoerd waarbij verschillende afdelingen achtereenvolgens worden bezocht voor voorraadcontrole of bevoorrading. Bij de distributie worden de frequenties van de bezoeken echter bepaald op basis van het reorder punt en de bestelhoeveelheid. In de praktijk nemen organisaties in de gezondheidszorg deze beslissingen op een andere basis. De opslagcapaciteit van de zorgafdelingen en de centrale voorraad zijn een belangrijke factor bij de beslissing hoe vaak een zorgafdeling moet worden aangevuld en hoe vaak een leverancier moet worden ingeschakeld. Een te kleine centrale voorraad waarin zeer beperkte hoeveelheden van de volumineuze producten kunnen worden opgeslagen, is vaak de realiteit waarmee de meeste ziekenhuizen te maken hebben. In deze situatie moeten vaker bestellingen bij leveranciers worden gedaan en/of moeten meer voorraden in het centraal magazijn worden aangehouden, dan in het "reorder point"-model wordt voorgesteld, om aan de behoeften te voldoen en de capaciteiten in acht te nemen. In dat verband worden de voorraden van de zorgafdelingen groter gehouden om een kleine centrale voorraad te compenseren. Een andere reden is dat het uitputten van voorraden tijdrovend is voor de bevoorradingdienst, die de zorgafdelingen extra moet bezoeken (interne "hot-picks" genoemd). Daarnaast verspilt het medisch personeel ook tijd met extra telefoontjes naar de bevoorradingdienst (Lapierre & Ruiz, 2007).

Een laatste beperking van op voorraad gebaseerde benaderingen is dat alle bevoorradingproblemen kostengebaseerd zijn en geen rekening houden met de gunstige aspecten van voorraadbeheer. In realiteit, waar de medische afdelingsvoorraad in de schappen ligt en medewerkers vrij zijn om artikelen op te halen, kan het verhogen van de frequentie van afdelingsbezoeken snel abnormale vraag identificeren. Verder onderzoek kan dan bepalen of deze consumptieverandering tijdelijk is vanwege nieuwe medische praktijken, of andere redenen. Als er ondanks frequente bezoeken problemen met het voorraadbeheer blijven bestaan, moet de voorraad in de zorgsector worden verminderd. Kleinere voorraden zijn namelijk steeds beter te beheren dan grote. Daarnaast moet ook het aantal bezoeken worden verhoogd om een goed serviceniveau te garanderen (Lapierre & Ruiz, 2007).

Een alternatief voor het voorraadmodel is de planningsgerichte benadering. Deze aanpak bestaat erin de toeleveringsactiviteiten te beschouwen als een keten van operationele beslissingen. Bij dit model ligt de focus op de beslissing om een product op voorraad te houden of rechtstreeks te leveren. Door een product op voorraad te houden in de centrale voorraad kan de frequentie van de

inkooporders bij de leveranciers worden verminderd en kunnen de voorraden van de zorgafdelingen worden verminderd, maar de voorraden van het centraal magazijn worden vergroot. Een alternatief is om het centraal magazijn te omzeilen. Hierdoor worden de behandelingstijd en de behoefte aan ruimte in het centraal magazijn verminderd, maar is een verfijnde coördinatie tussen de ontvangst en de leveringen aan de zorgafdelingen vereist (Lapierre & Ruiz, 2007).

Deze benadering vergt ook mankracht om de vier hoofdactiviteiten uit te voeren: (1) voorraadbeheer en beslissingen over bevoorrading bij de zorgafdelingen; (2) ordervverzameling en levering van producten aan de zorgafdelingen; (3) inkoopactiviteiten bij leveranciers om de centrale voorraad en de zorgafdelingen (voor directe producten) te bevoorraden; (4) afhandeling van voorraden bij de receptie en de centrale voorraad. In een haalbaar tijdschema worden de belangrijkste activiteiten (ontvangst, bevoorrading, voorraadbeheer en inkoop) dusdanig geprogrammeerd dat de beschikbare middelen in acht worden genomen. Om de tevredenheid van de zorgafdelingen te maximaliseren moet de bevoorradingscyclus echter goed worden gecoördineerd. Een goede planning coördineert de activiteiten zodat de leveringen van de leveranciers en de voorraadaanvullingen aan de zorgafdelingen op elkaar zijn afgestemd (Lapierre & Ruiz, 2007).

In ziekenhuizen wordt gebruik gemaakt van verschillende vormen van vervoer. Wat betreft de gebruikte transporttechnieken kan onderscheid worden gemaakt tussen pneumatisch transport via buizen, railvervoer boven het hoofd, handmatig transport waarbij de geselecteerde materialen zelf worden gehanteerd en vervoer met behulp van allerlei soorten wielkarren. De eerste drie vervoerstechnologieën worden gebruikt voor het vervoer van lichte materialen. De plastic buis die voor pneumatisch vervoer wordt gebruikt, kan bloedstalen snel transporteren naar het laboratorium. Pneumatische buissystemen zijn beperkt tot kleine items, zoals papieren, geneesmiddelen of labostalen. Het systeem werkt door de vracht in kleine cilinders te plaatsen die vervolgens in een buizenstation in het buissysteem worden geplaatst, waarna de cilinder door pneumatische krachten van ventilatoren en pompen naar de plaats van bestemming wordt verplaatst. Bovenlooprails zijn ontworpen voor het vervoer van kleine ladingen zoals patiëntendossiers, testresultaten, laboratoriumtests of een bloedmonster. Ze worden in horizontale of verticale configuraties geïnstalleerd en materialen worden tussen verdiepingen en ziekenhuisafdelingen getransporteerd met behulp van autonome hef- en sleepsystemen. In veel gevallen worden zij ook gebruikt voor het vervoer van zwaardere lasten en meer delicate onderdelen, zoals glazen containers met chemische vloeistoffen. Bovendien kunnen hiermee verschillende containers tegelijk in verschillende richtingen worden vervoerd. In vergelijking met een pneumatisch transport is dit transport langzamer (DOBRZAŃSKA, DOBRZAŃSKI, & Smieszek, 2013). Het handmatige transport en gebruik van karren om goederen te transporteren komt verder aan bod bij de distributie van medicijnen en steriel materiaal (zie secties 4.2 en 4.3).

Het huidige grootste probleem bij de interne circulatie van medische benodigdheden is dat de mate van informatiebeheer van de gebruikte materialen laag is en dat het personeel van de materiaaldistributie de goederen handmatig ophaalt, en eenvoudige karretjes en andere hulpmiddelen gebruikt om medische materialen in ontvangst te nemen. Dit is inefficiënt en onveilig,

waardoor de kosten voor logistiek beheer zichtbaar stijgen (Yang, Dong, Rong, & Wu, 2021). Mogelijke oplossingen en optimalisatiemogelijkheden hiervoor kunnen teruggevonden worden in sectie 4.5.

Volgende twee secties (4.2 en 4.3) bespreken de distributie van twee specifieke type producten, medicijnen en steriel materiaal, aangezien deze vaak vanuit een ander verdeelpunt (centrale apotheek, centrale steriele voorraad) gedistribueerd worden. Hierdoor verloopt het distributieproces anders dan algemene zorgproducten die in de centrale voorraad liggen.

4.2 Distributie van medicijnen in een ziekenhuis

Een distributieketen voor ziekenhuisgeneesmiddelen kan worden omschreven als een netwerk dat bestaat uit een opeenvolging van verschillende schakels. Typische schakels zijn bijvoorbeeld leveranciers, regionale apotheken, ziekenhuisapotheken, ziekenhuisafdelingsapotheken, patiënten. De verschillende ketens zijn verbonden door fysieke transportverbindingen (Costantino et al., 2010).

Het fundamentele doel van de toeleveringsketen van medicijnen wordt vaak omschreven als het voldoen aan de "vijf R's" of vijf rechten: het juiste geneesmiddel in de juiste dosis via de juiste route en met de juiste frequentie toedienen aan de juiste patiënt (Benjamin, Rothschild, Genest, & Bates, 2003). Deze vijf rechten komen in volgende paragrafen aan bod tijdens de bespreking van de werking van het distribueren van medicatie in een ziekenhuis.

Traditioneel is de distributie van medicatie de verantwoordelijkheid van de apotheek. Echter vond er vroeger een andere aanpak van medicijndistributie plaats die bekend stond als meervoudige doseringssystemen. Deze systemen betekenden dat verpleegkundigen de volledige verantwoordelijkheid hadden voor het gehele medicatiesysteem, wat het toedienen van honderden dosissen medicijnen met zich meebracht, samen met papierwerk, inventariscontrole en dosisvoorbereiding (Balka & Nutland, 2004).

In het begin van de jaren zestig ontstond een nieuw systeem dat bekend staat als "unit-dose systems" of eenheidsdoseringssysteem. In dit systeem voorziet het apothekerspersoneel elke patiënt 24 uur per dag van medicatie. Verpleegkundigen worden dus voorzien van individueel verpakte en geëtiketteerde dosissen. Deze worden dan op de afdeling afgeleverd en zijn klaar om aan de patiënt te worden toegediend door het verplegend personeel wanneer dat nodig is. Dit systeem zorgt voor een extra controle tussen het apotheekpersoneel dat de medicijnen verstrekt en het verplegend personeel dat ze aan de patiënt toedient (Mcnally, Page, & Sunderland, 1997). Om redenen van veiligheid en economie is de voorkeursmethode voor de distributie van geneesmiddelen in instellingen het eenheidsdoseringssysteem. Hoewel de eenheidsdoseringssystemen in vorm kunnen verschillen, afhankelijk van de specifieke behoeften, middelen en kenmerken van elke instelling, hebben zij vier elementen gemeen: medicatie zit in en wordt toegediend vanuit eenheidsdosisverpakkingen, medicatie wordt zo veel mogelijk in gebruiksklare vorm afgeleverd, voor de meeste geneesmiddelen geldt dat er nooit meer dan een voorraad van 24 uur aan geneesmiddelen wordt verstrekt aan of beschikbaar is in de verpleegafdeling van de patiënt en in de apotheek wordt

voor elke patiënt tegelijkertijd een medicatieprofiel bijgehouden. Voorraden van geneesmiddelen worden tot een minimum beperkt en de voorraden zijn gelimiteerd tot geneesmiddelen voor noodgevallen en routinematig gebruikte artikelen zoals mondspoeling en antiseptische oplossingen (ASHP, 1980).

Alle medicijnen die niet aan de patiënt zijn toegediend, moeten in het medicijnkarretje blijven en worden teruggebracht naar de apotheek. Alleen medicijnen die in een ongeopende verzegelde verpakking worden geretourneerd, mogen opnieuw worden uitgegeven. Medicijnen die door patiënten worden geretourneerd, mogen niet opnieuw worden gebruikt. Alle toegediende, geweigerde of weggelaten medicatiedosissen dienen volgens vastgelegde procedures in het medisch dossier van de patiënt te worden geregistreerd (ASHP, 1980).

Het primaire doel van het beheer van de geneesmiddelendistributie is een stabiele aanvoer van geneesmiddelen en voorraden naar de plaatsen waar zij nodig zijn, terwijl er tegelijkertijd voor wordt gezorgd dat de middelen op de meest doeltreffende wijze worden gebruikt. De distributiekosten, waaronder de kosten voor opslag en vervoer, vormen een belangrijk onderdeel van de uitgaven voor het ziekenhuis. Om de kwaliteit van farmaceutische producten te handhaven, moeten alle belanghebbenden in de distributieketen zich houden aan de toepasselijke wet- en regelgeving. Elke activiteit in de distributie van farmaceutische producten moet worden uitgevoerd in overeenstemming met de richtlijnen inzake goede opslagpraktijken en goede distributiepraktijken. Nauwkeurige en veilige distributie van geneesmiddelen aan de patiënten is de integrale verantwoordelijkheid van de ziekenhuisapotheek. Een efficiënt distributiesysteem voor geneesmiddelen waarborgt de beschikbaarheid van de juiste geneesmiddelen in voldoende hoeveelheden en ingekocht tegen de laagste prijzen. Met de beschikbare en aanvullende middelen is het streven om een zo groot mogelijk aantal begunstigden een maximale verzorgende waarde te bieden (ASHP, 1980).

Het systeem van eenheidsdoseringen verminderde aanzienlijk het dramatisch voorkomen van fouten, medicatieverspilling, de medicatiekosten door kleinere voorraden op afdelingsniveau, en de tijd die verpleegkundigen in voorgaande meervoudige doseringssystemen spendeerden. Voortbouwend op dit systeem werd een geautomatiseerde functie in het eenheidsdoseringssysteem ontwikkeld waardoor het gehele proces, van het invoeren van het voorschrift van de medicijnen van de arts tot het toedienen van de dosis per uur, computerondersteund werd (Simborg & Derewicz, 1975). Naarmate de technologie zich verder ontwikkelde, zette de automatiseringstrend in de apotheek zich voort en werd deze gekenmerkt door een toename van geautomatiseerde systemen voor de distributie van geneesmiddelen in ziekenhuizen.

Automatisering bij de distributie van geneesmiddelen varieert van computerondersteunde invoer van medicatievoorschriften door artsen, tot gerobotiseerde behandeling, verpakking en sortering van geneesmiddelen in de apotheek, tot zelfstandige automatische medicatiekasten op verpleegeenheden en het automatisch genereren van aanpasbare rapporten en formulieren.

In veel farmaceutische distributiesystemen zijn geautomatiseerde methoden ingevoerd om de gevaren van handmatige verstrekking en toediening tegen te gaan. De wens om de kosten en de tijd die met handmatige distributie gemoeid zijn te verminderen en het personeel in te zetten voor meer klinische activiteiten is ook een drijvende kracht geweest achter de automatisering van de geneesmiddelendistributie (Ahtiainen, Kallio, Airaksinen, & Holmström, 2020). Gecentraliseerde systemen voor medicijndistributie omvatten traditionele handmatige eenheidsdosering en stationaire robotsystemen die medicijndistributie automatiseren met behulp van barcodetechnologie. Gedecentraliseerde medicijndistributiesystemen omvatten satellietapotheken en geautomatiseerde uitgiftekasten. De keuze tussen deze twee types hangt vaak samen met de grootte van het ziekenhuis. Zo verkiezen grote ziekenhuizen met meer dan 200 bedden vaker voor een gedecentraliseerd systeem en kleinere ziekenhuizen met 50 of minder bedden voor een gecentraliseerd systeem (Pedersen, Schneider, & Scheckelhoff, 2009). Sommige ziekenhuizen combineren de gecentraliseerde en gedecentraliseerde functies in een hybride systeem.

De automatische medicijnkasten vormen vaak het middelpunt van de automatiseringsoplossingen die door zorginstellingen worden gekozen. Elk systeem en elke kast is enigszins anders geconfigureerd, maar werken allemaal volgens hetzelfde basisprincipe: de kasten, die meestal worden geïnstalleerd op verpleegafdelingen en vaak op de spoedeisende hulp en in operatiekamers van ziekenhuizen en andere instellingen voor gezondheidszorg, zien eruit als een geldautomaat en functioneren ook zo. De gebruiker voert zijn vertrouwelijke ID in, selecteert een patiëntprofiel uit een lijst met opties en kiest de juiste medicatie die moet worden toegediend. De distributiekast ontgrendelt vervolgens een specifieke lade met de medicatie, waartoe de gebruiker gedurende een beperkte tijd toegang heeft. Verschillende instellingen hebben diverse protocollen over wie toegang heeft tot de machines, hoe lang en op welke tijdstippen, wat er moet gebeuren met teruggebrachte medicatie en hoe er moet worden omgegaan met medicatiefouten (Balka & Nutland, 2004).

Medicatiefouten zijn een fundamentele kwestie die aan de orde komt in de literatuur waarin het succes en de mislukking van automatisering in de apotheek worden geëvalueerd, samen met de kostenbesparingen en het efficiënte gebruik van de tijd van verpleging en apotheek (Balka & Nutland, 2004).

In de volgende paragrafen wordt het probleem voor de aflevering van geneesmiddelen binnen een ziekenhuis met twee soorten personeel, namelijk apothekersassistenten en vervoerders, besproken aan de hand van de bevindingen van Augusto & Xie (2009). Elke medische eenheid van het ziekenhuis heeft een mobiele medicijnkast die elke week door vervoerders naar de centrale apotheek wordt gebracht voor inventarisatie en hervulling door assistenten. Er worden twee categorieën medische zorgeenheden onderscheiden: eenheden die te voet bereikbaar zijn (minder dan 500 m) en eenheden in andere gebouwen die per vrachtwagen bereikbaar zijn (verscheidene kilometers). Het vervoersprobleem van medicijnen kan als volgt worden beschreven. Het probleem vertrekt vanuit gegevens over de centrale apotheek, de medische eenheid, het gebouw en de verdieping van elke medicijnkast van het ziekenhuis. In de centrale apotheek komen in de loop van de week dagelijks geneesmiddelen binnen van externe leveranciers. Deze geneesmiddelen worden gesorteerd en in

rekken opgeslagen in de centrale bereidingsruimte van de apotheek. Elke medische eenheid van het ziekenhuis beschikt over een mobiele medicijnkast met geneesmiddelen die bij de eenheid horen. Deze kast wordt door vervoerders naar de apotheek gebracht en eenmaal per week door apothekersassistenten bevoorrad. De kast wordt vervolgens terug naar de eenheid vervoerd. De apotheek levert ook voorgeschreven geneesmiddelen voor ziekenhuispatiënten met speciale behoeften: de voorschriften worden door de artsen naar de apotheek gestuurd en 's ochtends verzameld om 's middags door de apothekersassistenten te worden behandeld. De dringende voorschriften worden onmiddellijk behandeld. Deze geneesmiddelen worden ook door een transporteur naar de juiste eenheid gebracht. Tenslotte worden er ook geneesmiddelen geleverd aan patiënten die naar de centrale apotheek komen voor zeldzame geneesmiddelen die in de stadsapotheken niet te vinden zijn (Augusto & Xie, 2009).

Afhankelijk van de locatie weet het systeem of een medicijnkastje naar de centrale apotheek moet worden vervoerd te voet of per vrachtwagen. Voor het vervoer te voet wordt de gemiddelde tijd gegeven die nodig is om een medicijnkastje te vervoeren. Het vervoer per vrachtwagen gebeurt per gebouw, d.w.z. dat alle medicijnkastjes die op dezelfde route van de vrachtwagen zitten, uit hetzelfde gebouw afkomstig zijn. Elke vrachtwagen krijgt een maximum aantal medicijnkasten toegewezen die via dezelfde route kunnen worden vervoerd. De totale tijd die nodig is voor een dergelijke route omvat de totale tijd die nodig is om alle medicijnkastjes van de route naar vrachtwagen te brengen, de reistijd van het betreffende gebouw naar het gebouw van de apotheek, en de totale tijd die nodig is om alle medicijnkastjes naar de apotheek te brengen. Het transportprobleem op zich is vergelijkbaar met het klassieke rittenplanningsprobleem (vehicle routing problem, VRP). Helaas zijn de oplossingstechnieken voor de routebepaling van voertuigen niet van toepassing, omdat er twee nauw verwante problemen moeten opgelost worden: de bevoorradingsplanning en het transportprobleem (Augusto & Xie, 2009).

Aangezien het probleem van de voertuigrouting een combinatorisch probleem is, is het te complex om exact te worden opgelost. Daarom stellen Augusto & Xie (2009) een aanpak in twee stappen voor waarbij eerst de leveringsroutes worden bepaald en deze routes vervolgens over de planningshorizon worden verdeeld om de werklust van de assistenten in evenwicht te brengen. Meer specifiek,

1. Er worden ophaalroutes samengesteld voor vervoerders die een vrachtwagen besturen, met inachtneming van de beschikbaarheidsbeperking en hun capaciteit. Het is de bedoeling om het totale aantal routes tot een minimum te beperken. Elke afhaalroute die te voet wordt afgelegd, komt overeen met een medicijnkast die te voet moet worden vervoerd.
2. De resulterende routes worden verdeeld over alle tijdsperioden om de werkdruk van zowel de vervoerders als de assistenten in evenwicht te brengen.

In de volgende secties zullen beide stappen in detail besproken worden.

4.2.1 Berekening van ophaal- en leveringsroutes

Ten eerste wordt elke kast in hetzelfde gebouw als de apotheek toegewezen aan één route te voet. In het vervolg van deze paragraaf worden alleen de routes met vrachtwagens beschouwd. Gezien de probleemstelling heeft elke ophaal- en afleverroute slechts betrekking op kasten van één gebouw.

Als gevolg hiervan kunnen routes van verschillende gebouwen afzonderlijk worden bepaald. In wat volgt worden de routes gebouw per gebouw vastgelegd. Voor elk gebouw is het doel het aantal routes te minimaliseren (Augusto & Xie, 2009).

Er wordt een integer lineair programmeringsmodel voorgesteld om ophaalroutes te bepalen voor vervoerders die een vrachtwagen besturen, terwijl het totale aantal routes wordt geminimaliseerd. U is de verzameling van medicijnkasten (of medicijneenheden) van het beschouwde gebouw, K is het aantal medische diensten en $U_k, k \in \{1, \dots, K\}$ is de verzameling medicijnkastjes van medische diensten k . Dan is $U = U_1 \cup U_2 \cup \dots \cup U_k$ (Augusto & Xie, 2009). N komt overeen met de capaciteit van het vervoermiddel (vrachtwagen), J is een gegeven aantal routes dat voor het gebouw nodig is en $J \leq |U|$. De beslissingsvariabele y_{ij} is gelijk aan 1 als kast i aan route j wordt toegewezen, anders 0. De beslissingsvariabele z_j is gelijk aan 1 als route j open is, anders 0 (Augusto & Xie, 2009). Het probleem kan dus als volgt worden gemodelleerd:

$$\text{Minimaliseer } \sum_{j=1}^J z_j \quad (1)$$

Behoudens:

$$\sum_{j=1}^J y_{ij} = 1, \forall i \in U \quad (2a)$$

$$\sum_{i \in U} y_{ij} \leq N, \forall j \in \{1 \dots J\} \quad (2b)$$

$$\sum_{i \in U_k} y_{ij} \leq |U_k| - 1, \forall j \in \{1 \dots J\}, \forall k \in \{1 \dots K\} \quad (2c)$$

$$z_j \geq y_{ij}, \forall i \in U, \forall j \in \{1 \dots J\} \quad (2d)$$

Het is de bedoeling om het aantal routes te minimaliseren (1). Vergelijking (2a) zorgt ervoor dat elke kast aan een route wordt toegewezen. Vergelijking (2b) is de capaciteitsbeperking van het vervoersmiddel. Vergelijking (2c) modelleert de beschikbaarheidsbeperking voor elke medische dienst en (2d) zorgt ervoor dat elke kast alleen aan een geopende route wordt toegewezen (Augusto & Xie, 2009).

4.2.2 Planning van ophaal- en leveringsroutes

Nadat de leveringsroutes zijn bepaald in vorige sectie, worden deze routes verdeeld over de planningshorizon om de werklust van de assistenten in evenwicht te brengen. Het wiskundig model is als volgt gedefinieerd. L is de verzameling van de eerder gegenereerde S ophaalroutes, $LT \subset L$ is de deelverzameling van routes die met een vrachtwagen worden afgelegd. T is het aantal perioden. Voor elke route i wordt de transporttijd q_i en de leveringstijd p_i in de apotheek vastgesteld. Voor elke

periode t is het aantal assistenten n_t , het aantal vervoerders m_t en het aantal beschikbare vrachtwagens w_t gekend. S_t is de werktijd van de assistenten en T_t de werktijd van de transporteurs per periode. Tenslotte is Ω met $r \in \{1 \dots R\}$ een verzameling routes die wegens de beschikbaarheidsbeperkingen niet aan dezelfde halve dag kunnen worden toegewezen. De verzameling Ω komt overeen met de routes die niet allemaal aan dezelfde tijdsperiode kunnen worden toegewezen. De beslissingsvariabele x_{it} is gelijk aan 1 als route i aan periode t wordt toegewezen (Augusto & Xie, 2009).

Het probleem kan dus als volgt worden gemodelleerd:

Minimaliseer C (3)

Behoudens:

$$C \geq \sum_{i \in L} \frac{p_i}{n_t S_t} x_{it}, \forall t \in \{1 \dots T\} \quad (4a)$$

$$\sum_{i \in \Omega_r} x_{it} \leq |\Omega_r| - 1, \forall t \in \{1 \dots T\}, \forall r \in \{1 \dots R\} \quad (4b)$$

$$\sum_{i \in L} q_i x_{it} \leq m_t T_t, \forall t \in \{1 \dots T\} \quad (4c)$$

$$\sum_{i \in LT} q_i x_{it} \leq w_t T_t, \forall t \in \{1 \dots T\} \quad (4d)$$

$$\sum_{t=1}^T x_{it} = 1, \forall i \in L \quad (4e)$$

Het is de bedoeling de werklast van de assistenten tot een minimum te beperken (vergelijkingen (3) en (4a)). Vergelijking (4b) zorgt voor de overeenstemmingsbeperking van de routes. Vergelijking (4c) is de capaciteitsbeperking van de transporteurs. Vergelijking (4d) is de beschikbaarheidsbeperking van de vrachtwagens, en vergelijking (4e) zorgt ervoor dat elke route aan precies één periode wordt toegewezen (Augusto & Xie, 2009).

Augusto & Xie (2009) stelden een as-is simulatiemodel op om de verzamelde gegevens en geselecteerde wiskundige waarschijnlijkheidswetten te valideren. Deze methode geeft een optimale oplossing bij benadering van het probleem, waarbij een zeer goed evenwicht wordt gevonden tussen de werklast voor de vervoerders en die voor de assistenten gedurende een week.

4.3 Distributie van steriel materiaal in een ziekenhuis

In volgende paragrafen wordt de distributie van steriel materiaal besproken tussen de steriele opslagplaats en het operatiekwartier. In de opslagplaats worden de steriele instrumenten op voorraad gelegd. Zij worden hier niet afzonderlijk opgeslagen, maar gegroepeerd in productsets.

Doorgaans zijn alle artikelen in een set precies de artikelen die voor een bepaalde operatie nodig zijn. Maar dit is echter niet altijd het geval. Het kan voorkomen dat de inhoud van een set algemener is, zodat het voor verschillende soorten operaties kan worden gebruikt, of dat voor één soort operatie verschillende soorten productsets nodig zijn. De vraag naar steriele materialen zal afhangen van de geplande of ongeplande operaties en procedures die dagelijks in het ziekenhuis worden uitgevoerd (Klundert et al., 2007). Klundert et al. (2007) verklaart de processen en materiaalvereisten in de operatiekamers als onvoorspelbaar van aard. Dit is te wijten aan verschillende kenmerken, zoals het feit dat veel van de patiënten onverwacht binnenkomen als spoedpatiënt en onmiddellijk een operatie nodig hebben. Zelfs als de operatie gepland is, gebeurt het vaak dat operaties zich op een onverwachte wijze ontwikkelen en dat extra steriel materiaal nodig is. Het kan ook gebeuren dat de dienbladen met steriel materiaal onvolledig zijn of dat de steriliteit ervan vóór de operatie is aangetast.

Kort voor een operatie worden de vereiste sets uit de opslag gehaald, op een kar gelegd, en deze kar wordt naar het aangeduide operatiekwartier gebracht (Prajogo et al., 2016). Wat de verdeling van de steriele apparatuur betreft, wordt uitgelegd dat het verplaatsen van de dienbladen met apparatuur kan worden uitgevoerd door ze voorzichtig met de hand vast te houden, maar voor langer transport moeten wagensystemen worden overwogen. Indien nodig kunnen speciale liften, één voor schone en één voor vuile goederen, worden gebruikt voor rechtstreeks vervoer van apparatuur tussen de verzendingsruimte, het gebruikspunt en de goederenontvangst in de gedecontamineerde ruimte (McDonnell & Sheard, 2012).

Tijdens de operatie zullen de steriele voorwerpen, of ze nu gebruikt worden of niet, besmet raken. Als de operatie is afgelopen, worden alle materialen naar de besmette opslag van het operatiekwartier gebracht, vanwaar ze naar de goederenontvangst van het Central Sterile Supply Departement (CSSD) of de centrale steriele bevoorradingsafdeling worden gebracht. Daar worden ze gedemonteerd, gedesinfecteerd, eventueel voorgereinigd en vervolgens in de wasmachines gedaan. Na het wassen worden de materialen gehegroepeerd tot sets. Deze gaan de autoclaven in waar de sterilisatie plaatsvindt. Een autoclaaf is een apparaat dat vloeistoffen, gereedschappen, glas, sommige polymeren en textiel steriliseert met behulp van stoom onder druk. Na de sterilisatie worden de productsets in de steriele opslagruimte van de CSSD geplaatst. Van daaruit worden ze naar de steriele opslag van het operatiekwartier gebracht, waarmee de gesloten kringloop is voltooid. Gewoonlijk duurt het gebruik plus het aanvullen meer dan een halve dag, zelfs wanneer de CSSD naast het operatiekwartier ligt. Binnen deze gesloten lus van de sterilisatielogistiek is het punt van verbruik van de steriele instrumenten het operatiekwartier. De bruikbaarheid van het materiaal is daarom het hoogst wanneer het zich in de steriele opslag van het operatiekwartier bevindt. Een effectief principe voor logistieke controle is dus om alle items zo snel mogelijk aan te vullen in deze steriele opslag van het operatiekwartier. In de praktijk duwen veel ziekenhuizen alle instrumenten die uit de steriele opslag van het operatiekwartier worden gehaald in één dag door het hele circuit, zodat ze aan het eind van de dag weer in de steriele opslag van het operatiekwartier liggen (Klundert et al., 2007).

Vroeger werd de sterilisatieactiviteit vaak gedecentraliseerd en gefragmenteerd uitgevoerd, dichtbij of in de operatiekamers van het ziekenhuis. Vandaag echter hebben de meeste moderne ziekenhuizen hun sterilisatiefunctie gereorganiseerd als een afzonderlijke en gecentraliseerde dienst die alle ziekenhuisafdelingen bedient (Mascolo & Gouin, 2013). Het centraliseren van de diensten maakt een betere standaardisatie en kwaliteit van de processen, kostenreducties, evenals een bundeling van zowel middelen als expertise mogelijk (Giarraputo, 1990). De CSSD kan intern worden opgezet, als onderdeel van de interne toeleveringsketen van het ziekenhuis, of kan worden uitbesteed om deel uit te maken van de externe toeleveringsketen van het ziekenhuis. Klundert et al. (2007) kwamen tot de conclusie dat veel gezondheidsinstellingen ervoor kiezen de sterilisatieactiviteiten uit te besteden om ruimte vrij te maken, kosten te besparen en de deskundigheid van de derde partij op dit gebied te benutten. Zij benadrukken echter dat uitbesteding en verandering van de logistieke principes van de steriele diensten het risico met zich meebrengt dat de flexibiliteit en beschikbaarheid van producten afneemt en de kosten stijgen, in plaats van het tegenovergestelde effect te hebben. Zij stellen dat de kosteneffectiviteit zal afhangen van de mate waarin de operaties en het logistieke ontwerp worden geoptimaliseerd.

4.4 Optimalisatie van distributie in een ziekenhuis

Door de toeleveringsketen te stroomlijnen, kunnen de kosten van de interne distributie worden verminderd. Effectief voorraadbeheer verlaagt de kosten van interne distributie door de omloopsnelheid van de voorraad te verbeteren en vermindert bijgevolg de tijd en arbeid die met voorraadbeheer gepaard gaan (bijvoorbeeld bestellen en stock-outs behandelen). Het voorraadmodel kan uitgebreid worden met leveringsbronnen en routeringsinformatie om distributie- en voorraadbeslissingen te combineren. Bovendien spelen de leveringssystemen van ziekenhuizen een sleutelrol in de resultaten op vlak van patiëntenzorg. Bij het zoeken naar optimale transport- of routeringsoplossingen wordt rekening gehouden met variabelen zoals transportkosten, middelen, de capaciteitsbeperking in magazijnen die de maximale hoeveelheid opgeslagen voorraden bepaalt, en de lay-out van het ziekenhuis die de transporttijd beïnvloedt om de zorglocaties te bereiken. Distributieproblemen hebben meestal tot doel de routing, het aantal en type vervoerders, en de werkschema's van deze laatste te bepalen. De prestaties van de interne ziekenhuisdistributie kunnen worden geëvalueerd aan de hand van verschillende factoren, zoals tijdige levering van voorraden, reactietijd op dringende verzoeken, fouten, verspilling en tevredenheid van patiënt en personeel (Moons et al., 2019).

4.4.1 Optimalisatiemodellen voor distributiebeslissingen

Bij distributie moeten beslissingen over het optimaliseren van routes om de reistijd, de omvang van het aantal voertuigen en andere middelen te beperken, genomen worden. Het "travelling salesman problem" (TSP) en het "vehicle routing problem" (VRP) zijn de twee meest voorkomende modellen voor verbetering en optimalisatie in routing. TSP beschouwt één enkel voertuig dat meerdere klantlocaties bezoekt voordat het terugkeert naar de locatie, waarbij de totale reistijd of voertuigafstand geminimaliseerd wordt. VRP verschilt van TSP doordat VRP meerdere routes kan genereren om alle klantlocaties te passeren. VRP is een combinatorisch optimalisatie- en integer-programmeerprobleem waarbij de beste route wordt gevonden om goederen aan specifieke

klantlocaties toe te wijzen. De complexiteit van een algoritme voor het oplossen van VRP is exponentieel gerelateerd aan het aantal klantlocaties. Daarom wordt VRP meestal opgelost met behulp van heuristische optimalisatietechnieken om haalbare oplossingen te vinden met beperkte rekenkracht. Het basismodel van VRP omvat een enkele site, een reeks klantlocaties en voertuigen binnen een site. Het doel van basis-VRP is om de totale routeringskosten te minimaliseren. Omdat er veel alternatieven zijn in de echte probleemomgevingen, zijn er verschillende versies van VRP buiten de basis VRP (Herdianti, Gunawan, & Komsiyah, 2021).

Uit de beperkte literatuur blijkt echter dat VRP niet vaak wordt toegepast in een ziekenhuiscontext of slechts recentelijk meer in aanmerking is gekomen als optimalisatie-instrument. De gelimiteerde beschikbare literatuur bespreekt ook eerder de specifieke routing met behulp van VRP van niet zorgproducten, waaronder linnen, medische dossiers en afval die niet tot het onderzoeksbereik van deze masterproef horen. Volgende twee studies onderzoeken routeringsproblemen van meer algemene producten in een ziekenhuiscontext.

Kergosien, Lenté, Billaut, & Perrin (2013) bespreken een toepassing van twee VRPs die onderling verbonden zijn in een Frans ziekenhuiscomplex. Deze site bestaat uit meerdere ziekenhuiseenheden verdeeld over een stad. Het model met twee niveaus heeft tijdvensters, een heterogene voertuigenvloot, meerdere magazijnen en producten. Het eerste niveau betreft het probleem van de besturing van een vloot van voertuigen voor enkele spoedeisende hulpafdelingen die medicijnen, schone kleren, maaltijden, andere benodigdheden, patiëntendossiers, afval en vuil materiaal vervoeren. Het volgende niveau betreft de kwestie van de routing van werknemers tussen de verschillende gebouwen van een grotere ziekenhuiseenheid. Het verbindingspunt tussen de twee niveaus is een knooppunt bij een grote ziekenhuiseenheid met meerdere gebouwen waar het eerste niveau VRP iets aflevert, terwijl het tweede niveau dit als een magazijn beschouwt. Het eerste routeringsprobleem speelt zich af tussen de magazijnen en ziekenhuizen. Een route kan niet meer dan één dag beslaan. De karren worden door de chauffeurs afgezet in het magazijn van het verbindingsknooppunt/ziekenhuis tussen de twee niveaus. Vervolgens voert het magazijnteam de leveringen uit. Dit wordt als het tweede routeringsprobleem beschouwd. Het team loopt of gebruikt voertuigen, afhankelijk van het afleverpunt. Het doel van deze studie met twee VRPs is het bepalen van de routes van de voertuigen en de grootte van het magazijnteam in een groot ziekenhuis. Dit doen de auteurs op basis van het combineren van twee VRPs om een optimale oplossing te bekomen. VRP kan effectief voor optimale routeringsresultaten zorgen binnen een ziekenhuiscontext.

Een aanvulling hierop is de studie van Sheng, Wang, Huang, & Yen (2006) uitgevoerd in een ziekenhuis in Taiwan. In deze studie wordt de fuzzy-meetmethode gebruikt om het VRP op te lossen. Er wordt een model ontwikkeld om de problemen in verband met het vervoer van medische apparatuur en producten in ziekenhuizen aan te pakken. Bij een meervoudige doelstellingsbeslissingsanalyse wordt er in traditionele planningsmodellen zoals VRP van uitgegaan dat elke doelstelling onafhankelijk van elkaar is. In werkelijkheid kan er echter sprake zijn van interactie en substitutie-effecten tussen beginselen en eigenschappen. Deze studie laat zien dat wanneer de fuzzy meetmethode wordt toegepast, het niet nodig is om de onafhankelijkheid tussen doelen in overweging te nemen en dat de planningsresultaten dichterbij de vereisten van

besluitvormers liggen. VRP geeft voor een ziekenhuiscontext met hoge complexiteit niet altijd de beste oplossing. Vaak is een variatie of aanvulling van het model nodig om in een ziekenhuis te kunnen fungeren als routingoptimalisatie-instrument (Sheng et al., 2006).

Naast routeringsbeslissingen moeten ook beslissingen gemaakt worden over welke schakels in de distributieketen gebruikt worden. Costantino et al. (2010) werkten een strategiemodel uit voor het ontwerp van de ziekenhuismedicatie-distributieketen. Het model neemt alle mogelijke leveranciers, regionale distributeurs, ziekenhuisapotheken, ziekenhuisafdelingen en patiënten in rekening om de totale externe en interne distributieketen te optimaliseren. Het wordt gemodelleerd door een digraph model (grafiek met knooppunten met directe verbindingen) die de schakels in de keten beschrijft alsook de medicatie- en informatieverbindingen die hen onderling verbinden. Een procedure om de beperkingen en het optimalisatieprobleem te definiëren wordt beschreven op basis van de kennis van de directe grafiek. Elke grafische pijl is geassocieerd met een variabele die de hoeveelheid medicijneenheden uitdrukt die door een schakel van de keten of van een niveau naar een volgend niveau gaan. Deze variabelen worden gebruikt om de prestatie van de distributieketen te evalueren en de schakels te kiezen die deze kunnen optimaliseren. In het bijzonder wordt een multi-criteria objectief probleem geformuleerd om de configuratie van het distributienetwerk te optimaliseren, rekening houdend met materiaal- en informatieverbindingen. Een gemengd integer lineair programmeringsprobleem levert een reeks mogelijke alternatieve oplossingen op. De toegepaste methodologie stelt het ziekenhuis in staat een medicatie-distributienetwerk op te bouwen door de optimale verbindingen te selecteren. Ziekenhuizen kunnen op basis van dit optimalisatiemodel voor de interne distributieketen bepalen welke medicijnen uit welke ziekenhuisapotheek (indien meerdere) geleverd moeten worden en aan welke afdeling, om op die manier kosten en tijd te kunnen besparen.

4.4.2 Geautomatiseerde transporttechnieken

Een automatisch geleid voertuig (AGV) is een autonoom voertuig dat hoofdzakelijk wordt gebruikt voor horizontale verplaatsing van materialen. AGV's worden gebruikt voor het intern en extern transport van materialen. Traditioneel werden ze meestal toegepast in productiesystemen en zijn ze het meest geschikt in omgevingen met herhalende transportpatronen, zoals distributiecentra, magazijnen, productiedepartementen en transportcentra. AGV's zijn er in vele verschillende vormen en maten, afhankelijk van de transporttaken waarvoor ze ontworpen zijn. Ze werden geïntroduceerd in 1955. Het gebruik van deze automatisch geleide voertuigen is sinds de introductie ervan enorm gegroeid. Het aantal toepassingsgebieden en de variatie in types is ook aanzienlijk toegenomen. De vooruitgang van de laatste jaren op het gebied van informatie- en communicatietechnologie (ICT) en batterijtechnologie heeft geleid tot nieuwe toepassingsgebieden, waaronder ziekenhuizen (Vis, 2006). AGV's kunnen menselijke arbeid op verschillende manieren vervangen: ze nemen de noodzaak weg voor een persoon om voorraden of materiaal te dragen of het op wagens doorheen een faciliteit te duwen of ze vervangen vorkheftrucks of andere door mensen aangedreven voertuigen (Pedan, Gregor, & Plinta, 2017).

AGV's werken onder verschillende omstandigheden, van een schone en droge ziekenhuisomgeving tot de buitenomgeving van een containerpark. In al deze omgevingen voeren een aantal AGV's

transporttaken uit van de ene locatie naar de andere in een automatisch geleid voertuigstelsel (AGV-systeem). De verschillende onderdelen van het systeem zijn: de voertuigen, het transportnetwerk, de ophaal- en afleverpunten en het controlesysteem. De ophaal- en afleverpunten dienen als interfaces tussen het transportsysteem en het productie- of opslagsysteem. Tussen de ophaal- en afleverpunten rijden de AGV's op geleide paden die het transportnetwerk vormen. In het verleden werden de AGV's langs deze paden geleid door draden of rails in de vloer, maar moderne AGV's werken zonder fysieke geleidpaden (Vis, 2006).

Tegenwoordig is de vraag naar mobiele robots en het gebruik ervan in ziekenhuizen toegenomen als gevolg van veranderingen in de technologische trends en de beheersing van de medische kosten (Plinta & Krajčovič, 2015). Voor zorginstellingen zijn deze geautomatiseerde systemen specifiek ontworpen voor de afhandeling van bulkmaterialen, geneesmiddelen, laboratoriumstalen, transport van voedsel, beddengoed, afval en biomedische instrumenten (Pedan et al., 2017). Het automatiseren van deze leveringen verhoogt de bedrijfsefficiëntie, waardoor personeel kan worden ingezet voor andere afdelingen of activiteiten. Hierdoor kunnen ze meer aandacht besteden aan directe patiëntenzorg. Daarnaast verhoogt het ook de veiligheid in het ziekenhuis doordat het personeel minder kwetsuren of gevaar oploopt bij het duwen van zware karren. Geautomatiseerde systemen werken 24 uur per dag, 7 dagen per week. Ze kunnen de materiaalstroom in het ziekenhuis stroomlijnen, de kosten beheersen en de werkdruk verminderen (Micieta, Gašo, & Krajčovič, 2014).

De topziekenhuizen van de wereld hebben deze technologie al ingevoerd en verlagen daardoor hun exploitatiekosten en verhogen de kwaliteit van hun zorgdiensten, waardoor zij hun investeringskosten snel kunnen terugverdienen. Daartegenover worden andere zorginstellingen afgeschrikt door de hoge aanschafkosten van deze technologie. De managers in de gezondheidszorg moeten zich vooral realiseren dat het doel van de nieuwe, moderne technologie is om zorgverleners te helpen efficiënter te werken en de kwaliteit van de zorgdiensten te verbeteren (Pedan et al., 2017).

Het AGV software systeem controleert alle belangrijke bewegingen in het ziekenhuis en kan bepaalde taken voorrang geven zodat deze het eerst worden uitgevoerd (bijvoorbeeld chirurgische instrumenten eerst vervoeren, dan maaltijden voor patiënten, beddengoed en uiteindelijk afval). AGV's zijn uitgerust met sensoren om obstakels te detecteren, zodat ze veilig kunnen stoppen voordat ze obstakels raken die in de weg kunnen staan. Het systeem is volledig geïntegreerd voor automatische besturing van deuren en liften. AGV's zijn betrouwbaar, veilig, efficiënt en kosteneffectief. Toepassingen en commando's worden doorgegeven via een gebruiksvriendelijk aanraakscherm (Pedan et al., 2017).

In de case studie van Pedan et al. (2017) werd een AGV geïntegreerd in een afdeling van een zorginstelling. Met behulp van een simulatiesoftware konden ze de voordelen van AGV-integratie bepalen. Uit de resultaten van de simulatieruns bleek dat er 345 minuten per dag bespaard werden op een totaal van 1440 minuten aan logistieke taken (wat neerkomt op 23,96 %) voor medische assistenten. Dit kan resulteren in de overplaatsing of verplaatsing van medische assistenten naar

activiteiten en taken die meer gericht zijn op de specifieke patiëntenzorg. Bovendien werden de schoonmaak- en transportdiensten verlost van zwaar en gevaarlijk afval door integratie van het AGV-systeem. De AGV kan ook worden gebruikt voor het vervoer van geneesmiddelen en medische benodigdheden met lage eisen inzake veiligheid of hygiëne. Deze integratie kan voordelen opleveren op gebied van vermindering van schade, onredelijke en onjuiste transporten en fysiek zwaar transport.

Tabel 7 bevat een overzicht van de voor- en nadelen van AGV die worden genoemd in de literatuur.

Tabel 7: Voor- en nadelen van AGV

Voordelen van AGV	Nadelen van AGV
Transporttaken overnemen	Hoge investeringskosten
24/7 actief	Nood aan een geïntegreerd en hoog technologisch informatiesysteem en ondersteunende technologieën
Meer veiligheid	Belemmering door wetten
Meer bedrijfsefficiëntie	Weerstand van werknemers

Daaropvolgend is een andere klasse van de onbemande geleide voertuigen op de markt gebracht, namelijk een autonome mobiele robot (AMR) die meer mogelijkheden heeft dan een AGV. AMR's zijn in staat zich vrij te bewegen en in real time een pad te plannen waardoor ze kunnen samenwerken met mensen bij materiaaltransporttaken. AMR-systemen combineren gesofisticeerde sensortechnologie en artificiële intelligentie en kunnen zo veilig navigeren tussen diverse obstakels (bijvoorbeeld mensen) in dynamische omgevingen en deze ook ontwijken. Daarnaast kunnen ze ook functioneren onder ongekende omstandigheden (Takahashi, Suzuki, & Shitamoto, 2010). Met behulp van AMR's kan een hoge mate van flexibiliteit worden bereikt. Een AMR-apparaat voert taken uit waarvoor het is geprogrammeerd of opgeleid en kan dus zelfstandig functioneren bij wisselende prestatie-eisen en in veranderende omgevingen. Hierdoor kunnen met name zorgverleners worden ontlast van niet-verzorgende taken en kunnen nieuwe en aanvullende activiteiten worden ontplooid (bijvoorbeeld het ad hoc ter beschikking stellen van de noodzakelijke medische en verpleegkundige hulpmiddelen zonder dat de zorgverleners afstand hoeven te nemen van de patiënt) (Bloss, 2011). AMR's leveren een beslissende bijdrage aan de optimalisatie van processen in de interne logistiek en zorgen ervoor dat de nodige middelen op het juiste zorgpunt en op het juiste tijdstip beschikbaar zijn en dat de kwaliteit en de veiligheid van de zorg voor de patiënt duurzaam wordt verhoogd (Ramdani, Panayides, & Karamousadakis, 2019).

Net zoals AGV's, worden AMR's nog niet veel gebruikt in een ziekenhuiscontext. De redenen hiervoor zijn onder meer de strikte wettelijke voorschriften en het financieringssysteem. Het gebruik van AMR's om de veiligheid en de kwaliteit van de zorg in ziekenhuizen te ondersteunen en te optimaliseren, wordt geconfronteerd met een groot aantal verschillende invloedsfactoren (Mettler, Sprenger, & Winter, 2017). Deze omvatten bureaucratische en structurele regelgeving, de aanvaarding van het gebruik van technologie door gezondheidswerkers en patiënten en het gebrek aan standaarden en interfaces en rijpe technologieën in de context van ziekenhuiszorg. Toch is het

volgens Kriegel, Rissbacher, Reckwitz, & Tuttle-Weidinger (2021) zeer interessant om verder de voordelen van AMR voor een ziekenhuis te onderzoeken om zo de interne distributie te optimaliseren.

4.4.3 Gebruik van drones

Momenteel is het vervoer van medische goederen in een ziekenhuis sterk afhankelijk van toegewijde menselijke hulpbronnen die de materialen te voet vervoeren. Deze wijze van vervoer kan inefficiënt blijken wegens de inflexibiliteit ten aanzien van een variabele en nauwelijks voorspelbare vraag, vooral op bepaalde momenten van nood. Andere problemen, van een op mensen gebaseerd transportsysteem, die nog moeten worden aangepakt zijn: lange loopafstanden, inefficiënte routing, liftproblemen, communicatieproblemen en het risico van ziekenhuisinfecties (Silvestri et al., 2022).

Onbemande vliegtuigsystemen, de zogenaamde "drones", geven steeds meer blijk van hun potentiële rol in de gezondheidszorg. De meeste tests die de laatste jaren zijn uitgevoerd hadden betrekking op het gebruik van drones voor de levering van medische benodigdheden (bijvoorbeeld bloedproducten, automatische externe defibrillatoren, geneesmiddelen, vaccins en diagnostische monsters). Drones begonnen hun nut te bewijzen voor medische leveringen vanuit en naar afgelegen gebieden met een slechte weginfrastructuur en voor noodrespons. De belangrijkste voordelen van dronetoepassingen die in deze vroege ervaringen werden gevonden, waren de efficiëntie in tijdkritische situaties, de lagere CO₂-uitstoot en de besparing op de kosten van wegtransport. Experimenten vonden vaak plaats in ontwikkelingslanden, waar een soepele regelgeving meer uitgebreide en economische experimentele campagnes mogelijk maakte (Silvestri et al., 2022).

De drone-dienst kan ook gebruikt worden voor levering van dringende geneesmiddelen binnen de ziekenhuisgebouwen. De toeleveringsstroom wordt op gang gebracht door de zorgafdeling die, tijdens een noodgeval, een snelle levering van een specifiek geneesmiddel nodig heeft. De optie dringende aflevering van geneesmiddelen met de voorkeur via drone wordt geselecteerd en er wordt een bestelling voor de benodigde geneesmiddelen via de ziekenhuissoftware gemaakt. Het apotheekmanagement ontvangt de bestelling en stuurt deze door naar de apotheek. Vervolgens drukt de apotheekcoördinator de afleverbon af en wijst deze toe aan een van zijn medewerkers. Terwijl de medewerker de medicijnen ophaalt die op de afleverbon staan, plaatst de apotheekcoördinator het drone afleververzoek met behulp van de Drone Delivery App. Het drone-afleververzoek bereikt de manager van de drones, die de beschikbaarheid van de drone en de dronebestuurder controleert en de middelen voor de operatie toewijst. Een notificatie bevestigt de beschikbaarheid en identificatie van de drone aan de apotheekmanager en de medewerkers. Deze laatste bereikt de dronebasis met de bestelde medicijnen en de afleverbon, die ze in de aan de drone bevestigde aflevercontainer laden. Met behulp van de Drone Delivery App bevestigen zij dat de drone is geladen. De dronebestuurder voert de checklist voor de vlucht uit om ervoor te zorgen dat de drone bruikbaar en veilig is (d.w.z. toestemming om te vliegen, controle of de drone-onderdelen intact en vrij zijn, lading van de batterij en mogelijke communicatiestoringen) en start vervolgens de vlucht. De drone vliegt richting het afhaalpunt van de zorgafdeling door het volgen van vooraf gedefinieerde trajecten onder toezicht van de dronebestuurder. Een melding van de Drone Delivery

App informeert de medewerkers op de afdeling over de nabijheid van de drone. De verpleegkundige wacht tot de drone landt, lost de zorgproducten en bevestigt dit via de Drone Delivery App. De bevestiging activeert de toegewezen drone, die automatisch terugvliegt naar de basis om dan de betrokken gebruikers te informeren dat de medicijnen zijn afgeleverd. Wanneer de drone landt op de dronebasis, informeert een notificatie de manager van de drones over de voltooide levering en voert de bestuurder de post-vlucht checklist uit (Silvestri et al., 2022).

Samenvattend zou de levering met een drone voor de zorgafdeling slechts een extra mogelijkheid zijn om geneesmiddelen aan te vragen. Als blijkt dat de dienst effectief en efficiënt is, kan hij worden uitgebreid met meer drones en meer bestuurders. In elk geval zou de spil tussen de drone en het digitale systeem de manager zijn, wiens werkplek mogelijk 24/7 bemand kan zijn in extreme gevallen van vraag (Silvestri et al., 2022).

Tabel 8 bevat een overzicht van de voor- en nadelen van het gebruik van drones in een ziekenhuiscontext die worden genoemd in de literatuur.

Tabel 8: Voor- en nadelen van drones in een ziekenhuiscontext

Voordelen van drones	Nadelen van drones
Efficiëntie in tijds-kritische situaties	Investeringskosten
Verminderen van manueel transport	Nood aan kennis en bijbehorende technologie van drones
Tijdsbesparing	Beperkingen door wetgeving

De huidige studie toonde aan hoe de logistieke sector van de gezondheidszorg kan profiteren van de introductie van een drone bezorgdienst die de last van logistieke stromen te voet vermindert. Het belangrijkste voordeel voor een gevestigde organisatie in de gezondheidszorg zou de verhoging van de efficiëntie van het ziekenhuis zijn, wat zou resulteren in betere resultaten in de zorg. Het brengt echter aanzienlijke technologische en regelgevende uitdagingen met zich mee die moeten worden aangepakt voordat het werkelijkheid wordt (Silvestri et al., 2022).

Hoofdstuk 5: Conclusie

In dit onderzoek is gezocht naar een antwoord op de vraag: *Hoe kunnen bestaande distributieprocessen en voorraadprocessen in een ziekenhuis geoptimaliseerd worden?* Hiervoor is een literatuurstudie uitgevoerd naar het huidige voorraadbeheer en de interne distributie binnen een ziekenhuis, en naar nieuwe toepassingen die in de ziekenhuiscontext optimalisatie-opportunities kunnen bieden.

5.1 Algemene conclusie

Uit de literatuur blijkt dat een aanzienlijk deel van de ziekenhuiskosten wordt besteed aan logistieke activiteiten, terwijl deze processen niet tot de kerntaken behoren van een ziekenhuis. Optimale ziekenhuislogistiek kan in deze context een belangrijke hefboom zijn om kostenbesparingen te realiseren en een efficiënte manier zijn om de dienstverlening van ziekenhuizen te verbeteren. Volgens Landry & Beaulieu (2013) is ziekenhuislogistiek een geheel van ontwerp-, plannings- en uitvoeringsactiviteiten die de aankoop, het voorraadbeheer en de bevoorrading van goederen en diensten rond de verlening van medische diensten aan patiënten mogelijk maken. De toeleveringsketen van zorgproducten voor een ziekenhuis bestaat uit producenten, distributeurs en het ziekenhuis met zijn centrale magazijn, centrale apotheek en de opslagplaatsen in de zorgafdelingen.

Terwijl de integratie van de externe toeleveringsketen de meeste aandacht krijgt op het gebied van supply chain management, blijft de interne toeleveringsketen van een ziekenhuis de zwakke plek van de hele keten door een tekort aan logistieke en kostenefficiëntie. De literatuur bespreekt vaak de efficiënte werking tussen de externe schakels van de keten, maar zelden gaan auteurs verder in het bespreken van de interne toeleveringsketen van zorgproducten. Het behalen van besparingen in verband met de interne logistiek binnen een ziekenhuis kan een belangrijke impact hebben, niet alleen financieel, maar ook op vlak van de kwaliteit van de gezondheidszorg. Hoewel voorraadbeheersystemen voornamelijk op kosten gebaseerd zijn, moeten ziekenhuizen zich richten op het serviceniveau van de patiënt. Beschikbaarheid van zorgartikelen van hoge kwaliteit in een onzekere en continu fluctuerende omgeving is een uitdaging.

Er bestaan verschillende algemene periodieke en continue voorraadbeheermodellen (bijvoorbeeld EOQ, deterministisch periodiek of stochastisch periodiek/continu voorraadmodel) die kunnen geïmplementeerd worden in een ziekenhuiscontext telkens met behulp van specifieke voorraadbeheersystemen. Deze masterproef besprak volgende systemen: gestuurde systemen op basis van aanvragen, ruilkarren, periodieke automatische aanvulling, het two-bin systeem, door de gebruiker gestuurde systemen, gewichtscontrolebakken en het two-bin systeem met RFID-ondersteuning. Deze systemen zijn niet altijd betrouwbaar, efficiënt of optimaal en vergen vaak nog veel logistieke activiteiten uitgevoerd door het zorgpersoneel. Een mogelijke verbetering kan geboden worden door het VMI-systeem, waarbij het ziekenhuis de leveranciers verantwoordelijk maakt voor het bepalen van de omvang en timing van bestellingen, gewoonlijk op basis van de ontvangst van de voorraadgegevens van het ziekenhuis. De belangrijkste verbeteringen van VMI zijn

het verlagen van het voorraadniveau en tegelijkertijd het verbeteren van het serviceniveau. Een belangrijke en cruciale component van VMI is het delen van informatie door de zorginstelling. Hoe meer informatie correct wordt gedeeld, des te hoger zal het prestatievoordeel zijn. Het ziekenhuis kan ook deelnemen aan groepsaankooporganisaties of GPO's, waarbij er een horizontale samenwerking is tussen twee of meer organisaties in een of meer stappen van het inkoopproces. Hierdoor kunnen ze inkoopvolumes, informatie, markt- en vraagrisico's en/of middelen bundelen of delen, waardoor de kosten ervan verlagen. Daarnaast kan het ziekenhuis ook aan centralisatie doen. Meer specifiek worden in dat geval de producten vanuit een centrale voorraad buiten de muren van het ziekenhuis, rechtstreeks naar de zorgafdelingen geleverd. Het volledige succes van veel van deze systemen wordt vaak belemmerd door problemen op gebied van communicatie, leiderschap of bemiddeling bij conflicterende belangen of door vermoedens over de eerlijke verdeling van kosten en baten van de samenwerkingsprocessen. Deze communicatie en datasharing problemen kunnen verholpen worden met behulp van een goed geïntegreerd ERP-systeem. Met behulp van een ERP-systeem kunnen managers betere beslissingen nemen, de communicatiekosten zijn lager en bedrijven in de keten worden meer geïntegreerd en samenhangend.

Vervolgens werd de interne distributieketen van een ziekenhuis en de optimalisatie ervan onderzocht aan de hand van de literatuur. De wetenschappelijke literatuur hierover is eerder beperkt. Het huidige grootste probleem bij de interne circulatie van medische benodigdheden is dat de mate van informatiebeheer van de gebruikte materialen laag is en dat het personeel van de materiaaldistributie de goederen handmatig ophaalt, en eenvoudige karretjes en andere hulpmiddelen gebruikt om medische materialen te distribueren binnen het ziekenhuis. Dit is inefficiënt en onveilig, waardoor de kosten voor logistiek beheer stijgen. Een mogelijke oplossing hiervoor is een automatisch geleid voertuig (AGV) of de nieuwere autonome mobiele robot (AMR). AGV's kunnen menselijke arbeid op verschillende manieren vervangen: ze nemen de noodzaak weg voor een persoon om voorraden of materiaal te dragen of het op wagens doorheen een faciliteit te duwen of ze vervangen vorkheftrucks of andere door mensen aangedreven voertuigen. Daarnaast verhoogt het gebruik van een AGV ook de veiligheid in het ziekenhuis doordat het personeel minder kwetsuren of gevaar oploopt bij het duwen van zware karren. De topziekenhuizen van de wereld hebben deze technologie al ingevoerd en verlagen daardoor hun exploitatiekosten en verhogen de kwaliteit van hun zorgdiensten, waardoor zij hun kosten snel kunnen terugverdienen. Daarnaast kunnen ook drones ingezet worden om last minute leveringen voor noodsituaties uit te voeren en te optimaliseren. Uit de literatuur blijkt dus dat AGV's, AMR's en drones kosten kunnen besparen bij een efficiënt gebruik ervan.

Deze masterproef toont aan dat er niet zoiets bestaat als de pasklare oplossing inzake logistiek voor alle gezondheidsinstellingen. Het is vooral een combinatie van bovengenoemde optimalisatietechnieken en systemen die moet worden toegepast en dit rekening houdend met het type zorgproduct dat al dan niet op voorraad ligt en gedistribueerd moet worden. Uiteindelijk is het voor een ziekenhuis vooral belangrijk om de juiste afweging te maken tussen het doel, de werking, de opbrengsten en de kosten van de nieuwe, moderne technologie in hun interne supply chain.

5.2 Kritische reflectie en toekomstig onderzoek

Tijdens het schrijven van deze masterproef werden enkele moeilijkheden ondervonden, zoals het ontbreken of het beperkt voorkomen van toepasselijke literatuur. Zo zijn er verschillende voorraad- en distributietoepassingen die weinig in een ziekenhuiscontext worden onderzocht. Voornamelijk planningsmodellen voor interne distributie van zorgproducten komen niet vaak aan bod in de wetenschappelijke literatuur. Wetenschappelijke artikels bespreken namelijk eerder de externe distributieketen en optimalisatie ervan, met name wat er buiten de ziekenhuismuren gebeurt, dan de interne keten. Dit staat in contrast met de bewering van bepaalde auteurs die stellen dat de interne keten een belangrijke rol speelt in de verbetering van de logistieke processen in een ziekenhuiscontext. Wetenschappers zullen door de complexiteit van de ziekenhuisomgeving moeilijkheden ondervinden om optimalisatiemogelijkheden van de interne keten te onderzoeken. Dit leidde, in deze masterproef, tot het ondervinden van moeilijkheden om de delen uit hoofdstuk 4 uitgebreid en gedetailleerd te bespreken.

Gezien de beperkte literatuur rond de optimalisatie van interne logistieke processen in een ziekenhuis, biedt dit logistiek gebied nog veel potentieel voor toekomstig onderzoek. Daarnaast worden de verschillende optimalisatietechnologieën slechts door enkele wetenschappers en in specifieke casussen besproken, waardoor het verder opvolgen van deze toepassingen en het veralgemenen ervan diverse onderzoeksmogelijkheden bieden. Ziekenhuislogistiek heeft, zoals reeds eerder vermeld, pas het laatste decennium aandacht gekregen op vlak van optimalisatie. Hierdoor is het onderzoek ernaar nog in volle ontwikkeling en uitbreiding. Bijgevolg zullen er in de toekomst wellicht nog meerdere boeiende opportuniteiten aan het licht komen om aan optimalisatie te doen van het voorraadbeheer en de interne distributie in een ziekenhuiscontext.

Lijst van geraadpleegde werken

- Abukhousa, E., Al-Jaroodi, J., Lazarova-Molnar, S., & Mohamed, N. (2014). Simulation and Modeling Efforts to Support Decision Making in Healthcare Supply Chain Management. *The Scientific World Journal*, 2014, 16. doi:10.1155/2014/354246
- Ahtiainen, H. K., Kallio, M. M., Airaksinen, M., & Holmström, A. (2020). Safety, time and cost evaluation of automated and semi-automated drug distribution systems in hospitals: A systematic review. *European Journal of Hospital Pharmacy*, 27(5), 253-262. doi:10.1136/ejhpharm-2018-001791
- Asadabadi, M. (2015). A revision on EOQ/JIT indifference points. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 6(3), 305-314.
- ASHP. (1980). Hospital drug distribution and control. *American Journal of Hospital Pharmacy*, 37(8), 1097-1104. doi:10.1093/ajhp/37.8.1097
- ASLOG. La logistique en milieu hospitalier. Retrieved from http://www.aslog.org/fr/799-la-logistique-en-milieu-hospitalier.html?input2=&input1=&mots=&nb_res=0&niv2=26
- Augusto, V., & Xie, X. (2009). Redesigning pharmacy delivery processes of a health care complex. *Health care management science*, 12, 166-178. doi:10.1007/s10729-008-9086-3
- Axline, S., Markus, M. L., Petrie, D., & Tanis, C. (2000). Learning from adopters' Experiences with ERP: Problems encountered and success achieved. *Journal of Information Technology*, 14(4), 245-265. doi:10.1080/02683960010008944
- Bakker, E., Walker, H., Schotanus, F., & Harland, C. (2008). Choosing an organisational form: the case of collaborative procurement initiatives. *Int J Procure Manag*, 1(3), 297-317. doi:10.1504/IJPM.2008.017527
- Balka, E., & Nutland, K. (2004). Automated Drug Dispensing Systems: Literature Review.
- Benjamin, G. C., Rothschild, J. M., Genest, R., & Bates, D. W. (2003). What do we know about medication errors in inpatient psychiatry? *Journal on Quality and Patient Safety*, 29(8), 391-400.
- Bhakoo, V., Singh, P., & Sohal, A. (2012). Collaborative management of inventory in Australian hospital supply chains: practices and issues. *Supply Chain Manag Int J*, 17(2), 217-230. doi:10.1108/13598541211212933
- Bloss, R. (2011). Mobile hospital robots cure numerous logistic needs. *Ind Robot*, 38, 567-571.
- Boonstra, A., & Govers, M. J. G. (2009). Understanding ERP system implementation in a hospital by analysing stakeholders. *New Technology, Work, and Employment*, 24(2), 177-193. doi:10.1111/j.1468-005X.2009.00227.x
- Burns, L., Graaf, R. D., Danzon, P., Kimberly, J., Kissick, W., & Pauly, M. (2002). *The Health Care Value Chain: Producers, Purchasers, and Providers*.
- Burns, L. R., & Lee, J. A. (2008). Hospital purchasing alliances: utilization, services, and performance. *Health Care Manag Rev*, 33(3), 203-215. doi:10.1097/01.HMR.0000324906.04025.33

- Byl, R. (2013). Ziekenhuizen zijn geen magazijnen. *Trends*.
- Chandra, C., & Kachhal, S. K. (2004). Managing health care supply chain: trends, issues, and solutions from a logistics perspective. *Proceedings of the Sixteenth Annual Society of Health Systems Management Engineering Forum*, 20-21.
- Coddé, E. (2012). Slimme logistiek in de witte sector. *Profacility guide*, 86-87.
- Corbett, C. (2001). Stochastic Inventory Systems in a Supply Chain with Asymmetric Information: Cycle Stocks, Safety Stocks, and Consignment Stock. . *Operations Research*, 49(4), 487-500. doi:10.1287/opre.49.4.487.11223
- Costantino, N., Dotoli, M., Falagario, M., Fanti, M. P., Mangini, A., Sciancalepore, F., & Ukovich, W. (2010). A model for the optimal design of the Hospital Drug Distribution Chain. doi:10.1109/WHCM.2010.5441281.
- Costin. (2010). Logistique hospitalière, un outil du management : le cas des hôpitaux français et moldaves. *Humanisme et Entreprise*, 299(4), 29-48.
- CSC, C. (1996). EHCR, Efficient healthcare consumer response, improving the efficiency of the healthcare supply chain. American Hospital Association/American Society for Health-care Materials Management, Chicago.
- de Vries, J., & Huijsman, R. (2011). Supply chain management in health services: An overview. *Supply Chain Management*, 16(3), 159-165. doi:10.1108/13598541111127146
- Dellaert, N., & Poel, E. V. D. (1996). Global inventory control in an academic hospital. *International Journal of Production Economics*, 46-47, 277-284. doi:10.1016/0925-5273(95)00110-7
- Disney, S. M., Naim, M. M., & Potter, A. T. (2004). Assessing the impact of e-business on supply chain dynamics. *International Journal of Production Economics*, 89(2), 109-118.
- Disney, S. M., & Towill, D. R. (2003 (a)). Vendor-managed inventory and bullwhip reduction in a two-level supply chain. *International Journal of Operations & Production Management*, 23(5/6), 625-651.
- Disney, S. M., & Towill, D. R. (2003 (b)). The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the bullwhip effect in supply chains. *International Journal of Production Economics*, 85(2), 199-215.
- DOBRZAŃSKA, M., DOBRZAŃSKI, P., & Smieszek, M. (2013). MODERN LOGISTICS IN HEALTH SERVICE. *Modern Management Review*, 18. doi:10.7862/rz.2013.mmr.28
- Dong, Y., Dresner, M., & Yao, Y. (2010). Beyond information sharing: the value of vendor managed inventory to downstream firms. *Proceedings of the 8th International Conference on Logistics and SCM Research-RIRL 2010*.
- Dong Y., & Xu, K. (2002). A supply chain model of vendor managed inventory. *Transportation Research Part E*, 38(2), 75-95.
- Donk, D. P. v. (2003). Redesigning the supply of gasses in a hospital. *J Purch Supply Manag*, 9(5/6), 225-233. doi:10.1016/j.pursup.2003.09.008

Ducasse. (1995). Comment une démarche logistique permet-elle d'atteindre les nouveaux objectifs économiques des centres hospitaliers? *Logistique & Management*, 3(1), 3-9.

Ellison, S. F., & Snyder, C. M. (2011). Countervailing power in wholesale pharmaceuticals. *J Ind Econ*, 58(1), 32-53. doi:10.1111/j.1467-6451.2010.00408.x

Essig, M. (2000). Purchasing consortia as symbiotic relationships: developing the concept of "consortium sourcing". *Eur J Purch Supply Manag*, 6(1), 13-22. doi:10.1016/S0969-7012(99)00031-3

Ford, E. W., Wells, R., & Bailey, B. (2004). Sustainable network advantages: a game theoretic approach to community-based health care coalitions. *Health Care Manag Rev*, 29(2), 159-169. doi:10.1097/00004010-200404000-00009

Fry M.J., Kapuscinski R., & Olsen, T. L. (2001). Coordinating production and delivery under a (z, Z)-type vendor-managed inventory contract. *Manufacturing & Service Operations Management*, 3(2), 151-173.

Giarraputo, D. (1990). In-house versus off-site sterilization. *Hospital Materiel Management Quarterly*, 12(2), 49.

Guimarães, C., Carvalho, J. C. d., & Maia, A. (2013). Vendor managed inventory (VMI): Evidences from lean deployment in healthcare. *Strategic Outsourcing: An International Journal*, 6. doi:10.1108/17538291311316045

Haavik, S. (2000). Building a demand-driven, vendor-managed supply chain. *Healthcare Financial Management*, 24(2), 56-61.

Haksever, C., Render, B., Russell, R., & Murdick, R. (2000). *Service Management and Operations*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ Prentice Hall.

Haux, R. (2006). Health information systems – past, present, future. *International Journal of Medical Informatics*, 75(3), 268-281. doi:10.1016/j.ijmedinf.2005.08.002

Herdianti, W., Gunawan, A. A. S., & Komsiyah, S. (2021). Distribution cost optimization using pigeon inspired optimization method with reverse learning mechanism. *Procedia Computer Science*, 179, 920-929. doi:10.1016/j.procs.2021.01.081

Iannone, R., Lambiase, A., Miranda, S., Riemma, S., & Sarno, D. (2015). Cost savings in hospital materials management: Look-back versus look-ahead inventory policies. *International Journal of Services and Operations Management*, 22(1), 60-85.

Jarett, P. G. (1998). Logistics in the health care industry. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 28(9), 741-742.

Jawab, F., & Frichi, Y. (2018). Hospital Logistics Activities. *In Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*(Bandung: IEOM Society.), 3228-3237.

Jodlbauer, H., & Dehmer, M. (2020). An extension of the reorder point method by using advance demand spike information. *Computers & Operations Research*, 124. doi:10.1016/j.cor.2020.105055

Kergosien, Y., Lenté, C., Billaut, J., & Perrin, S. (2013). Metaheuristic algorithms for solving two interconnected vehicle routing problems in a hospital complex. *Computers & Operations Research*, 40(10), 2508-2518. doi:10.1016/j.cor.2013.01.009

Kergosien, Y., Lenté, C., Billaut, J.-C., & Perrin, S. (2013). Metaheuristic algorithms for solving two interconnected vehicle routing problems in a hospital complex. *Computers and Operations Research*, 40(10), 2508-2518. doi:10.1016/j.cor.2013.01.009

Keskittämisen, L., Työntekijän, H., Olander, H., & Tuominen, P. (2015). The advantages and disadvantages of logistics centralization and decentralization from employee's perspective.

Kim, D. (2005). An integrated supply chain management system: a case study in healthcare sector. *International Conference on Electronic Commerce and Web Technologies*, 218-227.

Klundert, J., Muls, P., & Schadd, M. (2007). Optimizing sterilization logistics in hospitals. *Health care management science*, 11(1), 23-33. doi:10.1007/S10729-007-9037-4

Kriegel, J., Rissbacher, C., Reckwitz, L., & Tuttle-Weidinger, L. (2021). The requirements and applications of autonomous mobile robotics (AMR) in hospitals from the perspective of nursing officers. *International Journal of Healthcare Management*, 1-7. doi:10.1080/20479700.2020.1870353

Landry, S., & Beaulieu, M. (2013). The Challenges of Hospital Supply Chain Management, from Central Stores to Nursing Units. *Handbook of Healthcare Operations Management: Methods and Applications*, 184, 465-482. doi:10.1007/978-1-4614-5885-2_18

Lapierre, S., & Ruiz, A. (2007). Scheduling logistic activities to improve hospital supply systems. *Computers & Operations Research*, 34(3), 624-641. doi:10.1016/j.cor.2005.03.017

Leaven, L., Ahmmad, K., & Peebles, D. (2017). Inventory management applications for healthcare supply chains. *International Journal of Supply Chain Management*, 6, 1-7.

Lee, C. C., & Chu, W. H. J. (2005). Who should control inventory in a supply chain. *European Journal of Operational Research Society*, 164(1), 158-172.

Levy M., & Grewel, D. (2000). Supply chain management in a networked economy. *Journal of Retailing*, 76(4), 415-429.

Mascolo, M. D., & Gouin, A. (2013). A generic simulation model to assess the performance of sterilization services in health establishments. *Health care management science*, 16(1), 45-61. doi:10.1007/s10729-012-9210-2

Mathew, J. O., & John, J. (2013). *New Trends in Healthcare Supply chain*.

McDonnell, G., & Sheard, D. (2012). *A Practical Guide to Decontamination in Healthcare*. Somerset, United Kingdom: John Wiley & Sons.

McKone-Sweet, K. E., Hamilton, P., & Willis, S. B. (2005). The ailing healthcare supply chain: a prescription for change. *Journal of Supply Chain Management*, 41(1), 4-17.

Mcnally, K. M., Page, M. A., & Sunderland, V. B. (1997). Ward Stock and Unit-Supply Drug Distribution: Influence on Nursing Time, Pharmacy Time and Medication Errors. *The Australian Journal of Hospital Pharmacy*, 27, 22-27.

Mettler, T., Sprenger, M., & Winter, R. (2017). Service robots in hospitals: new perspectives on niche evolution and technology affordances. *Eur J Inf Syst*, 26, 451– 468.

Micieta, B., Gašo, M., & Krajčovič, M. (2014). Innovation Performance of Organization. *Communications - Scientific letters of the University of Zilina.*, 16, 112-118. doi:10.26552/com.C.2014.3A.112-118

Moons, K., Waeyenbergh, G., & Pintelon, L. (2019). Measuring the logistics performance of internal hospital supply chains – A literature study. *Omega*, 82, 205-217. doi:10.1016/j.omega.2018.01.007

Nicholson, L., Vakharia, A. J., & Selcuk Erenguc, S. (2004). Outsourcing inventory management decisions in healthcare: Models and application. *European Journal of Operational Research*, 154(1), 271-290. doi:10.1016/S0377-2217(02)00700-2

Paltriccia, C., & Tiacci, L. (2016). Supplying networks in the healthcare sector: A new outsourcing model for materials management. *Industrial Management + Data Systems*, 116(8), 1493-1519. doi:10.1108/IMDS-12-2015-0500

Pedan, M., Gregor, M., & Plinta, D. (2017). Implementation of Automated Guided Vehicle System in Healthcare Facility. *Procedia Engineering*, 192, 665-670. doi:10.1016/j.proeng.2017.06.115

Pedersen, C., Schneider, P., & Scheckelhoff, D. (2009). *American journal of health-system pharmacy: AJHP: official journal of the American Society of Health-System Pharmacists*, 66(10), 926-946. doi:10.2146/ajhp080715

Plinta, D., & Krajčovič, M. (2015). Production System Designing with the Use of Digital Factory and Augmented Reality Technologies. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 350, 187-196. doi:10.1007/978-3-319-15796-2_19

Prajogo, D., Oke, A., & Olhager, J. (2016). Supply chain processes: Linking supply logistics integration, supply performance, lean processes and competitive performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 36(2), 220-238. doi:10.1108/IJOPM-03-2014-0129

Radasanu, A. C. (2016). Inventory management, service level and safety stock. *Journal of Public Administration*, 9, 145-153.

Ramdani, N., Panayides, A., & Karamousadakis, M. (2019). A safe, efficient and integrated indoor robotic fleet for logistic applications in healthcare and commercial spaces. *IEEE International Conference on Mobile Data Management*, 20, 425–430.

Razi, M. A., & Tarn, J. M. (2003). An applied model for improving inventory management in ERP systems. *Journal of Enterprise Information Management*, 16(2), 114.

Rego, N., Claro, J., & Pinho de Sousa, J. (2014). A hybrid approach for integrated healthcare cooperative purchasing and supply chain configuration. *Health care management science*, 17, 303-320. doi:10.1007/s10729-013-9262-y

Rivard-Royer, H., Landry, S., & Beaulieu, M. (2002). Hybrid stockless: A case study: Lessons for health-care supply chain integration. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(4), 412-424. doi:10.1108/01443570210420412

- Roberts, V. (2001). Managing strategic outsourcing in the healthcare industry. *Journal of Healthcare Management*, 46(4), 239-249.
- Rosales, C., Magazine, M., & Rao, U. (2015). The 2Bin system for controlling medical supplies at point-of-use. *European Journal of Operational Research*, 243(1), 271-280. doi:10.1016/j.ejor.2014.10.041
- Rosales, C. R., Magazine, M., & Rao, U. (2014). Point-of-use hybrid inventory policy for hospitals. *Decision Sciences*, 45(5), 913-937. doi:10.1111/dec.12097
- Rossetti, M. D., Buyurgan, N., & Pohl, E. (2012). Medical supply logistics. *Handbook of healthcare system scheduling*.
- S.N. (2016). Besparingen zetten ziekenhuizen onder druk. *Zorgnet-Icuro*.
- Saha, E., & Ray, P. K. (2019). Modelling and analysis of inventory management systems in healthcare: A review and reflections. *Computers & Industrial Engineering*, 137. doi:10.1016/j.cie.2019.106051
- Sampieri-Teissier. (2002). Proposition d'une typologie des pratiques logistiques des hôpitaux publics français
Enseignements à partir d'une étude empirique. *Logistique & Management*, 10(1), 85-96.
- Samuel, C., Gonapa, K., Chaudhary, G. K., & Mishra, A. (2010). Supply chain dynamics in healthcare services. *International Journal of Healthcare Quality Assurance*, 23(7), 631-642.
- Schotanus, F., & Telgen, J. (2007). Developing a typology of organisational forms of cooperative purchasing. *J Purch Supply Manag*, 13(1), 53-68. doi:10.1016/j.pursup.2007.03.002
- Sekaran, U., & Bougie, R. (2017). Research methods for business : a skill-building approach. *Chichester : Wiley*(7), 420.
- Sheng, H., Wang, J., Huang, H., & Yen, D. C. (2006). Fuzzy measure on vehicle routing problem of hospital materials. *Expert Systems with Applications*, 30(2), 367-377. doi:10.1016/j.eswa.2005.07.028
- Shih, S. C., Rivers, P. A., & Hsu, H. Y. S. (2009). Strategic information technology alliances for effective healthcare supply chain management. *Health Services Management Research*, 22, 140-150.
- Silvestri, S. D., Pagliarani, M., Tomasello, F., Trojaniello, D., & Sanna, A. (2022). Design of a Service for Hospital Internal Transport of Urgent Pharmaceuticals via Drones. *Drones*, 6(3). doi:10.3390/drones6030070
- Simborg, D. W., & Derewicz, H. J. (1975). A highly automated hospital medication system. Five years' experience and evaluation. *Annals of internal medicine*, 83, 342-346.
- Stadtler, H., & Kilger, C. (2008). Supply chain management and advanced planning. *Concepts, Models, Software and Case Studies*, 4.
- Takahashi, M., Suzuki, T., & Shitamoto, H. (2010). Developing a mobile robot for transport applications in the hospital domain. *Rob Auton Syst*, 58, 89-899.

Utami, F. D., Puspitasari, W., & Saputra, M. (2020). Design of planning model for ERP system in warehouse management: An empirical study of public hospital in indonesia. *Materials Science and Engineering*, 909(1). doi:10.1088/1757-899X/909/1/012061

Vancroonenburg, W., Esprit, E., Smet, P., & Berghe, G. V. (2016). Optimizing internal logistic flows in hospitals by dynamic pick-up and delivery models. *In Proceedings of the 11th international conference on the practice and theory of automated timetabling*, 371-383.

Veral, E., & Rosen, H. (2001). Can a focus on costs increase costs? *Hospital Material Management Quarterly*, 22(3), 28.

VIL. (2012). Hospitaallogistiek. 1-50.

Vis, I. F. A. (2006). Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, 170(3), 677-709. doi:10.1016/j.ejor.2004.09.020

Vitasek, K. (2010). Supply Chain Management Terms and Glossary

Volland, J., Fügener, A., Schoenfelder, J., & Brunner, J. O. (2017). Material logistics in hospitals: A literature review. *Omega*, 69, 82-101. doi:10.1016/j.omega.2016.08.004

Vries, G. D., Bertrand, J. W. M., & Vissers, J. M. H. (1999). Design requirements for health care production control systems. *Prod Plann Contr*, 10(6), 559-569. doi:10.1080/095372899232858

Waller M., Johnson M.E., & Davis, T. (1999). Vendor-managed inventory in the retail supply chain. *ournal of Business Logistics*, 20(1), 183-203.

Wray, L. R. (2012). Chapter 19: inventory theory. *Problem Solutions Part 1 Statistical Safety Stock-Stochastic*, 935-1008.

Yang, Y., Dong, L., Rong, H., & Wu, J. (2021). Optimization on Medical Material Distribution Management System Based on Artificial Intelligence Robot. *J Healthc Eng 2021*. doi:10.1155/2021/5511299

Yu, Z., Yan, H., & Cheng, T. C. E. (2002). Modelling the benefits of information sharing-based partnerships in a two-level supply chain. *Journal of Operational Research Society*, 53(4), 436-446.

Zhu, H. (2022). A simple heuristic policy for stochastic inventory systems with both minimum and maximum order quantity requirements. *Annals of Operations Research*, 309(1), 347-363. doi:10.1007/s10479-021-04441-1

Ziat, A., Sefiani, N., Reklouli, K., & Hamid, A. (2019). A generic framework for hospital supply chain. *International Journal of Healthcare Management*, 13, 1-8. doi:10.1080/20479700.2019.1603415