

UNIVERSITEIT GENT

FACULTEIT ECONOMIE EN BEDRIJFSKUNDE

ACADEMIEJAAR 2015 – 2016

Optimalisatie van de personeelsplanning in de retailsector

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van

Master of Science in de
Toegepaste Economische Wetenschappen: Handelsingenieur

Olivier Decapmaker

onder leiding van

Prof. Dr. Broos Maenhout

UNIVERSITEIT GENT

FACULTEIT ECONOMIE EN BEDRIJFSKUNDE

ACADEMIEJAAR 2015 – 2016

Optimalisatie van de personeelsplanning in de retailsector

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van

Master of Science in de
Toegepaste Economische Wetenschappen: Handelsingenieur

Olivier Decapmaker

onder leiding van

Prof. Dr. Broos Maenhout

PERMISSION

Ondergetekende verklaart dat de inhoud van deze masterproef mag geraadpleegd en/of gereproduceerd worden, mits bronvermelding.

Olivier Decapmaker

Voorwoord

Het schrijven van deze masterproef was een boeiende en leerrijke ervaring, een mooie afsluiter van mijn opleiding aan de universiteit. Ik kijk dan ook met plezier terug op deze periode en ben tevreden met het resultaat. Deze masterproef zou echter niet tot stand gekomen zijn zonder de medewerking van een aantal personen. Dit voorwoord is dan ook de ideale gelegenheid om deze mensen eens in de bloemetjes te zetten.

Eerst en vooral wil ik mijn promotor, Prof. Dr. Broos Maenhout, bedanken voor de kans die hij mij gaf om deze masterproef te kunnen schrijven. Dankzij hem kon ik mijn masterproef schrijven over een onderwerp dat me extreem boeit. Ik wil hem ook bedanken voor de constructieve gesprekken en de feedback. Door deze gesprekken heb ik zeer veel bijgeleerd en was ik in staat om deze masterproef succesvol te voltooien.

Verder wil ik ook de mensen van Delhaize Watersportbaan bedanken. Zij waren bereid om mee te werken aan de praktijkstudie van deze masterproef. In het bijzonder Barbara De Brouwer en Bart Kindermans, jullie gaven me een aantal essentiële inzichten in de problematiek van het opstellen van een personeelsplanning in de praktijk. De data die jullie verschaften hebben er ook voor gezorgd dat ik testen kon uitvoeren op real-life data en niet enkel met fictieve data moest werken. Bedankt hiervoor!

Een woord van dank is ook op zijn plaats voor Karl Indigne en Geert Segers van Protime. Zij waren meteen bereid om mee te werken aan het onderzoek van de research-application gap bij retailbedrijven en zorgden ervoor dat ik voldoende respondenten kon verzamelen om mijn vragenlijst in te vullen. Natuurlijk wil ik ook de retailbedrijven die wat tijd vrij maakten om de vragenlijst in te vullen, bedanken.

Tot slot wil ik nog een aantal mensen uit mijn naaste omgeving bedanken. Mijn vriendin, Michèle, die me altijd gesteund heeft en begrip had voor de vele uren werk die het schrijven van deze masterproef vergde. Mijn ouders, die mij de kans gegeven hebben om een universitaire opleiding te volgen. Ook familie en vrienden, die bereid waren om de verhalen over mijn masterproef te aanhoren en hier en daar nuttige tips konden verschaffen. En tot slot, mijn kleine broer en zus, die er door hun enthousiasme en opdringerigheid voor zorgden dat ik tussen het “thesissen” door toch voldoende tijd nam voor wat ontspanning.

Gent, 17 mei 2016

Olivier Decapmaker

Inhoudsopgave

Lijst van figuren	IX
Lijst van tabellen	XI
1 Inleiding	1
1.1 Situering van het onderwerp	1
1.2 Bespreking structuur van de masterproef	4
I Literatuurstudie	8
2 De retailsector	9
2.1 Definitie	10
2.2 Positie retailer binnen de supply chain	11
2.3 Het huidige retaillandschap	13
2.3.1 Grootste retailers ter wereld	14
2.3.2 De Europese retailmarkt	15
3 Personeelsplanning in de retailsector	19
3.1 Belang personeelsplanning	20
3.2 Overzicht literatuur	22
3.2.1 Personeelsplanning	22
3.2.1.1 Eerste stappen	23
3.2.1.2 Classificatiemethodes	23
3.2.1.3 Overzichtspapers	25
3.2.2 Personeelsplanning in de retailsector	26

3.2.2.1	Overzicht specifieke kenmerken van de retailsector in verband met personeelsplanning	27
3.2.2.2	Overzicht beschikbare literatuur	29
3.2.2.3	Vergelijkende studie van de literatuur	31
3.3	De verschillende onderdelen van het planningsproces	39
3.3.1	Stap 3: Planningsfase	39
3.3.1.1	Personeel	41
3.3.1.2	Taken	44
3.3.1.3	Objectieven	47
3.3.1.4	Restricties	50
3.3.1.5	Opstellen van het mathematisch model	53
3.3.1.6	Enkele uitbreidingsmogelijkheden mathematisch model	61
3.3.2	Stap 4: Realtime controle	61
4	Toewijzing van werknemers aan taken	65
4.1	Overzicht literatuur	68
4.2	Priority rules	71
4.2.1	Priority rules voor het selecteren van taken	72
4.2.2	Priority rules voor het selecteren van werknemers	75
4.3	Leerproces van de werknemers bij het uitvoeren van taken	77
5	Research-application gap	79
5.1	Overzicht literatuur	80
II	Praktijkstudie	84
6	Voorstelling Delhaize Watersportbaan	85
6.1	Basisgegevens Delhaize Watersportbaan	86
6.2	Huidige manier opstellen personeelsplanning	87
6.2.1	Overzicht van de verschillende stappen	88
6.2.2	Vastgestelde problemen	91
6.3	Focus van de praktijkstudie	94

7 Toewijzing van werknemers aan taken	96
7.1 Vergelijking toewijzingsmethodes op basis van fictieve data	98
7.1.1 Basialgoritme	98
7.1.1.1 Beschrijving werkwijze basialgoritme	99
7.1.1.2 Toewijzingsmethodes	103
7.1.1.3 Visuele voorstelling werkwijze basialgoritme	103
7.1.1.4 Overzicht parameters	107
7.1.2 Experimenten	109
7.1.2.1 Effecten van <i>learning</i>	110
7.1.2.2 Hybride methode	124
7.1.2.3 Losse experimenten	136
7.1.2.4 Verschillende priority rules	149
7.2 Vergelijking toewijzingsmethodes op basis van data Delhaize Watersportbaan	160
7.2.1 Data Delhaize Watersportbaan	160
7.2.2 Experimenten Delhaize Watersportbaan	162
7.3 Bijdrage van dit onderzoek	169
8 Research-application gap bij retailbedrijven	171
8.1 Methodologie	172
8.2 Resultaten	175
8.2.1 Planning tools	177
8.2.2 Benodigde tijd om de personeelsplanning op te stellen	180
8.2.3 Centralisatie vs. decentralisatie	184
8.2.4 1 shift vs. meerdere shifts	185
8.2.5 Vaste vs. flexibele shifts	187
8.2.6 Cyclische vs. acyclische personeelsroosters	189
8.2.7 Part-time werknemers	190
8.2.8 Vaardigheden en opleiding	192
8.2.9 Preferenties	194
8.2.10 Overuren	196
8.2.11 Investerings gepland	197
8.2.12 Belangrijkste problemen met betrekking tot de personeelsplanning . .	198

8.2.13 Trends, ontwikkelingen & objectieven	200
8.3 Conclusies	202
9 Conclusies en verder onderzoek	209
9.1 Conclusies	209
9.1.1 Personeelsplanning in de retailsector	209
9.1.2 Toewijzing van werknemers aan taken	211
9.1.3 Research-application gap bij retailbedrijven	213
9.2 Richtlijnen voor verder onderzoek	215
9.2.1 Toewijzing van werknemers aan taken	215
9.2.2 Research-application gap bij retailbedrijven	216
A Extra informatie over de retailsector	217
A.1 Evolutie retail	217
A.2 Ontstaan supermarktconcept	219
A.3 De belangrijkste retailtrends	222
B Stappen 1 en 2 van het personeelsplanningsproces	227
B.1 Stap 1: Voorspel de vraag	227
B.1.1 Eigenschappen voorspellingsmethodes	228
B.1.2 Wat is een goede voorspelling?	229
B.1.3 Accuraatheid van een voorspelling	230
B.1.4 Stappen in het voorspellingsproces	232
B.1.5 Overzicht van de beschikbare voorspellingsmethodes	234
B.1.6 Hoe kies ik de geschikte voorspellingsmethode?	239
B.2 Stap 2: Voorspelde vraag omzetten in werknemersbehoefte	240
C Oplossingsmethodes voor personeelsplanningsproblemen	244
C.1 Optimalisatie	245
C.1.1 Exacte optimalisatie	245
C.1.2 Optimalisatie met behulp van heuristieken	247
C.2 Simulatie	249
C.2.1 Overzicht verschillende stappen simulatiestudie	250

<i>Inhoudsopgave</i>	VII
C.2.2 Enkele toepassingen van simulaties	254
C.2.3 Voorbeeld gebruik Monte Carlo en Discrete event simulatie	255
C.3 Vergelijking oplossingsmethodes	257
D Voorstelling Delhaize Groep	258
D.1 Geschiedenis	258
D.2 Managementstructuur	262
D.3 Winkelconcepten	263
D.4 Concurrentie in België	265
D.5 Feiten en cijfers	266
E Vragenlijst	270
Bibliografie	276

Gebruikte afkortingen

BBP Bruto Binnenlands Product

CAO Collectieve Arbeidsovereenkomst

CEO Chief Executive Officer

EU Europese Unie

FCFS First-come-first-serve

HBC Houdbaarheidscontrole

kmo kleine of middelgrote onderneming

LDTF Least Difficult Task First

LPTF Longest Processing Time First

MDTF Most Difficult Task First

RFID Radio frequency identification

SPTF Shortest Processing Time First

VVP Voorverpakt

Lijst van figuren

2.1	Overzicht supply chain	11
3.1	Voorbeeld volgordebetrekkingen tussen taken	46
6.1	Opmaken van een uurrooster bij Delhaize Watersportbaan	88
7.1	Visuele voorstelling voorbeeld basisalgoritme $t = 0$	105
7.2	Visuele voorstelling voorbeeld basisalgoritme $t = 1$	106
7.3	Visuele voorstelling voorbeeld basisalgoritme $t = 2$	107
7.4	Learning vs. non-learning first-come-first-serve met duurtijd taken 10 tijdseenheden	112
7.5	Learning vs. non-learning first-come-first-serve met duurtijd taken 500 tijdseenheden	113
7.6	First-come-first-serve vs. Best fit met duurtijd taken 10 tijdseenheden	116
7.7	First-come-first-serve vs. Best fit met duurtijd taken 500 tijdseenheden	117
7.8	Leereffect bij first-come-first-serve methode	118
7.9	Leereffect bij best-fit methode	119
7.10	Hoeveelheid geleerd per tijdseenheid first-come-first-serve methode	121
7.11	Hoeveelheid geleerd per tijdseenheid best-fit methode	121
7.12	Performantie toewijzingsmethodes voor 10000 taken met duurtijd taken 10 tijdseenheden	130
7.13	Performantie toewijzingsmethodes voor 10000 taken met duurtijd taken 100 tijdseenheden	131
7.14	Detailweergave performantie toewijzingsmethodes voor 10000 taken met duurtijd taken 100 tijdseenheden	132

7.15	Performantie toewijzingsmethodes voor 10000 taken met duurtijd taken 500 tijdseenheden	133
7.16	FCFS vs. Best fit voor een variërende mix van taken	136
7.17	FCFS vs. Best fit met duurtijd taken 10 tijdseenheden voor verschillende afdelingen	139
7.18	FCFS vs. Best fit met duurtijd taken 500 tijdseenheden voor verschillende afdelingen	141
7.19	Verskil in performantie FCFS en Best fit methode	142
7.20	Vergelijking effecten van learning en vaardigheidsniveau werknemers	146
7.21	Vergelijking toewijzingsmethodes met duurtijd taken 10 tijdseenheden	156
7.22	Vergelijking toewijzingsmethodes met duurtijd taken 500 tijdseenheden	157
7.23	FCFS vs. Best fit voor verschillende afdelingen Delhaize Watersportbaan	164
8.1	Absolute waarden voor gebruikte planning tools bij verschillende bedrijfsgroottes	179
8.2	Aantal uur dat per week besteed wordt aan het opstellen van de personeelsplanning	181
8.3	Houdt men rekening met vaardigheden en opleiding?	193
8.4	Hoe worden vaardigheden gedefinieerd?	194
8.5	Is het mogelijk voor werknemers om bepaalde preferenties te uiten?	195
8.6	Is het mogelijk om overuren te werken?	197
8.7	Belangrijkste problemen bij het opstellen van de personeelsplanning	199
8.8	Belangrijkste trends, ontwikkelingen, . . . voor verbetering personeelsplanning	201
8.9	Eigenschappen personeelsplanning bij Belgische retailbedrijven	205
B.1	Data met regressielijn	238
C.1	Overzicht oplossingsmethodes	245
C.2	Schematische voorstelling productieproces	255
D.1	Overzicht managementstructuur Delhaize Groep	263
D.2	Marktaandeel food retailers op de Belgische markt	266

Lijst van tabellen

2.1	Overzicht grootste retailers ter wereld	14
3.1	Aantal publicaties omtrent personeelsplanning per tijdschrift	26
3.2	Personeelskarakteristieken en type beslissingen	33
3.3	Flexibiliteit van de shifts	34
3.4	Coverage constraint en pauzes	35
3.5	Kosten	36
3.6	Opname onzekerheid in het model en toepasbaarheid van het onderzoek	37
3.7	Gebruikte oplossingsmethodes	38
3.8	Subsector binnen de retail waar praktijkstudie plaatsvond	39
3.9	Voorbeelden tijdsgelateerde restricties	53
3.10	Aantal benodigde werknemers per tijdsperiode	54
3.11	Shifts	55
3.12	Eigenschappen werknemers	56
3.13	Uurrooster werknemers beenhouwerij-afdeling	60
3.14	Flexibiliteit cross-trained werknemers	64
4.1	Overzicht uit te voeren taken	73
4.2	Overzicht toegepaste priority rules en bijbehorende performantiemaatstaven	75
6.1	Overzicht afdelingen Delhaize Watersportbaan	87
7.1	Parameters taken voorbeeld	104
7.2	Parameters werknemers voorbeeld	104
7.3	Parametertabel experiment 1	109

7.4	Ratioanalyse non-learning vs. learning (ratio(non-learning,learning))	114
7.5	Parametertabel experiment 2	115
7.6	Parametertabel experiment 3	118
7.7	Parametertabel experiment 5	126
7.8	Ratioanalyse FCFS vs. Best fit en Hybrid (ratio(...,FCFS)) met duurtijd taken 10 tijdseenheden	127
7.9	Ratioanalyse Best fit vs. FCFS en Hybrid (ratio(...,Best fit)) met duurtijd taken 100 tijdseenheden	128
7.10	Parametertabel experiment 7	134
7.11	Ratioanalyse Best fit vs. FCFS en Hybrid (ratio(...,Best fit)) met variabele duurtijd taken (gem. 250 tijdseenheden)	134
7.12	Parametertabel experiment 7 deel 2	135
7.13	Parametertabel experiment 8	137
7.14	Samenvattende tabel centrale vs. decentrale toewijzing met duurtijd taken 10 tijdseenheden (ratio(FCFS,Best fit))	140
7.15	Samenvattende tabel centrale vs. decentrale toewijzing met duurtijd taken 500 tijdseenheden (ratio(FCFS,Best fit))	143
7.16	Parametertabel experiment 9	145
7.17	Parametertabel experiment 10	147
7.18	Ratioanalyse voor een variërend aantal werknemers (ratio(aantal werknemers,100))	148
7.19	Parametertabel experiment 11	150
7.20	Ratioanalyse voor verschillende priority rules taakselectie bij FCFS methode (ratio(priority rule,random))	151
7.21	Ratioanalyse voor verschillende priority rules taakselectie bij Best fit methode (ratio(priority rule,random))	153
7.22	Parametertabel experiment 12	155
7.23	Ratioanalyse voor verschillende toewijzingsmethodes met duurtijd taken 10 tijdseenheden (ratio(toewijzingsmethode,optimal fit))	156
7.24	Ratioanalyse voor verschillende toewijzingsmethodes met duurtijd taken 500 tijdseenheden (ratio(toewijzingsmethode,optimal fit))	158

7.25	Data werknemers en taken Delhaize Watersportbaan	161
7.26	Parametertabel experiment 1 Delahaize Watersportbaan	163
7.27	Samenvattende tabel centrale vs. decentrale toewijzing Delhaize Watersport- baan	165
7.28	Parametertabel experiment 2 Delhaize Watersportbaan	165
7.29	Ratioanalyse voor verschillende priority rules taakselectie bij Delhaize Water- sportbaan (ratio(priority rule,random))	166
7.30	Parametertabel experiment 3 Delhaize Watersportbaan	167
7.31	Ratioanalyse voor verschillende toewijzingsmethodes bij Delhaize Watersport- baan (ratio(toewijzingsmethode,optimal fit))	167
8.1	Planning tools	177
8.2	Aantal benodigde planningsuren	183
8.3	Centralisatie vs. decentralisatie	185
8.4	1 shift vs. meerdere shifts	187
8.5	Aantal shifts vs. flexibiliteit shifts	188
8.6	Vaste shifts vs. flexibele shifts	189
8.7	Cyclische vs. acyclische personeelsroosters	190
8.8	Gebruik part-time werknemers	191
8.9	Investeringen gepland vs. geen investeringen gepland	198
8.10	Overzicht belangrijkste conclusies	203
B.1	Tussenberekeningen om MAD, MSE en MAPE te bepalen	231
C.1	Simulatie productieproces	256
C.2	Samenvattende tabel oplossingsmethodes	257
D.1	Overzicht aantal winkels Delhaize wereldwijd	267
D.2	Informatie per aandeel voor Delhaize	269

Hoofdstuk 1

Inleiding

Deze masterproef heeft als titel “Optimalisatie van de personeelsplanning in de retailsector”. In dit hoofdstuk zullen we dit onderwerp eerst duidelijk situeren en wordt er toegelicht waarom we voor dit onderwerp gekozen hebben (zie sectie 1.1). In deze sectie worden de verschillende onderzoeksvragen die tijdens deze masterproef behandeld zullen worden, ook geïntroduceerd. Vervolgens wordt in sectie 1.2 een overzicht gegeven van de structuur van deze masterproef. Hierbij overlopen we kort de inhoud van ieder hoofdstuk en de verbanden tussen de verschillende hoofdstukken. Zo krijgt de lezer een duidelijk zicht op wat hij in het vervolg van deze masterproef mag verwachten.

1.1 Situering van het onderwerp

Personeelsplanning is een onderwerp waar reeds zeer veel literatuur over verschenen is. De grote inspanningen in het onderzoek naar personeelsplanningsproblemen worden hoofdzakelijk verklaard door het economisch belang ervan. Voor de meeste bedrijven is de personeelskost immers de grootste directe kost (Van den Bergh *et al.*, 2013). Deze kost met enkele procenten doen dalen door het invoeren van een efficiëntere personeelsplanning is dan ook zeer voordelig voor deze bedrijven.

In 2013 publiceerden Van den Bergh *et al.* een overzichtspaper van de huidige personeelsplanningsliteratuur¹. Hierbij werden de verzamelde papers ingedeeld op basis van verschillende

¹In hun onderzoek onderzochten Van den Bergh *et al.* (2013) alle beschikbare papers met betrekking tot personeelsplanning die in de periode januari 2004 - juli 2012 verschenen.

criteria. Tijdens het bestuderen van deze paper deden we een opmerkelijke vaststelling: er is reeds zeer veel literatuur verschenen met betrekking tot personeelsplanningsproblemen in de transportsector (luchtvaart, treinen, metro's, ...) en servicesector (ziekenhuizen, call centres, ...), maar er zijn weinig papers die personeelsplanningsproblemen in de retailsector behandelen. Nochtans is er in deze sector heel wat concurrentie en wordt er vaak geconcurrerd op basis van prijs. Bedrijven die actief zijn in deze sector ontvangen iedere mogelijke kostenbesparing, dus ook een kostenbesparing door het gebruik van een efficiëntere personeelsplanning, met open armen. Een Nederlandse studie (Marshoek, 2012) toonde aan dat er in Nederland € 150 miljoen bespaard kan worden in de supermarktbranche door het invoeren van een efficiëntere personeelsplanning. Natuurlijk mag men bij het streven naar een efficiëntere personeelsplanning niet enkel focussen op het kostenaspect. Men moet ook rekening houden met zaken als klantentevredenheid, werknemerstevredenheid, ... Bovendien zijn er ook heel wat restricties waar men rekening mee moet houden tijdens het opstellen van een personeelsplanning. Deze zorgen ervoor dat het opstellen van een goede personeelsplanning geen evidentie is. Het lijkt ons dan ook zeer interessant om het personeelsplanningsprobleem in de retailsector eens grondig te onderzoeken.

“Optimalisatie van de personeelsplanning in de retailsector” is echter een zeer omvangrijk onderwerp. Te omvangrijk om tijdens deze masterproef ieder aspect hiervan in detail te belichten. Daarom zullen we ons in deze masterproef richten op een aantal specifieke onderzoeksvragen die gelinkt zijn aan dit onderwerp. Er zijn **drie onderzoeksvragen** waarvan de tweede en de derde onderzoeksvraag de hoofdfocus van deze masterproef vormen. Deze twee onderzoeksvragen worden zowel in de literatuurstudie als de praktijkstudie uitvoerig behandeld. De eerste onderzoeksvraag moet meer als een inleidende vraag gezien worden. De bespreking van deze onderzoeksvraag zal ervoor zorgen dat de lezer de nodige voorkennis heeft om de rest van de masterproef aan te vatten.

De eerste onderzoeksvraag is: **“Verschilt het opstellen van een personeelsplanning in de retailsector sterk met het opstellen van een personeelsplanning in andere sectoren?”**. Om deze vraag te kunnen beantwoorden, zullen we de retailsector eerst uitvoerig beschrijven. Vervolgens bespreken we de stappen die tijdens het personeelsplanningsproces typisch doorlopen worden. Tijdens dit proces wordt het personeelsplanningsprobleem ge-

formuleerd en opgelost. Hierna kunnen we bekijken welke specifieke eigenschappen van de retailsector een invloed hebben op het personeelsplanningsprobleem en of de aanpassingen die hierdoor moeten gebeuren van die aard zijn dat we kunnen stellen dat het opstellen van een personeelsplanning bij een retailbedrijf echt anders verloopt dan bij een bedrijf uit een andere sector.

De tweede onderzoeksvraag is: **“Welke toewijzingsmethode wordt best gebruikt om werknemers aan taken toe te wijzen?”**. Deze onderzoeksvraag heeft betrekking op een zeer specifiek onderdeel van het personeelsplanningsproces, namelijk het toewijzen van werknemers aan taken. In de literatuur staat dit probleem bekend als het task allocation probleem. Bij ieder bedrijf, dus ook bij een retailbedrijf, moeten er heel wat verschillende taken uitgevoerd worden. Om deze taken uit te voeren, beschikt dit bedrijf over een aantal werknemers². Er bestaan heel wat verschillende methodes om te beslissen welke werknemers welke taken moeten uitvoeren. Bij deze beslissing maken bedrijven vaak gebruik van vrij subjectieve toewijzingsmethodes, zoals bijvoorbeeld een afdelingschef die beslist (op basis van zijn ervaring, intuïtie, ...) wie wat moet doen (De Brouwer, B., 2015). In deze masterproef willen we echter onderzoeken of er bepaalde wetenschappelijke, meer objectieve methodes zijn die ervoor zorgen dat de toewijzingsprocedure zo efficiënt mogelijk gebeurt, waardoor de taken zo snel mogelijk uitgevoerd kunnen worden. Hiervoor zullen we verschillende toewijzingsmethodes testen aan de hand van een testdesign dat gebaseerd is op het onderzoek van Campbell & Wu (2007). We zullen zowel testen uitvoeren op fictieve data als op de *real-life* data van Delhaize Watersportbaan.

De derde onderzoeksvraag is: **“Is er een research-application gap (met betrekking tot de personeelsplanning) in de Belgische retailsector?”**. Het begrip “research-application gap” duidt op het feit dat de modellen, algoritmes, ... die door onderzoekers ontwikkeld worden om personeelsplanningsproblemen op te lossen, in de praktijk slechts in zeer beperkte mate toegepast worden (Van den Bergh *et al.*, 2013). Bij het schrijven van deze masterproef werden we meermaals met dit fenomeen geconfronteerd. Zo merkten we tijdens het uitvoeren van ons eigen literatuuronderzoek in verband met personeelsplanning in

²In sommige bedrijven worden bepaalde taken uitgevoerd door machines, maar in deze masterproef zullen we ons focussen op taken die uitgevoerd worden door werknemers.

de retailsector bijvoorbeeld dat de methoden die in de onderzochte papers besproken werden, slechts zelden in de praktijk toegepast worden. Ook bij het uitvoeren van de praktijkstudie bij Delhaize Watersportbaan merkten we dat het personeelsplanningsproces verre van optimaal verliep. Zo moesten heel wat zaken tijdens dit personeelsplanningsproces nog manueel uitgevoerd worden. Daarom besloten we om een aparte onderzoeksvraag aan de research-application gap te wijten. Wat is het nut immers van al het onderzoek dat gedaan wordt naar betere oplossingsmethodes om personeelsplanningsproblemen op te lossen als deze methodes in de praktijk slechts zelden toegepast worden? Aangezien deze masterproef de “Optimalisatie van de personeelsplanning in de retailsector” bestudeert, besloten we om het bestaan van de research-application gap op empirische wijze te onderzoeken bij Belgische retailbedrijven. Voor zover wij weten, werd er nog geen dergelijk onderzoek uitgevoerd. We stelden een vragenlijst op die door 107 retailbedrijven werd ingevuld. Ons onderzoek is gebaseerd op het onderzoek van Beliën *et al.* (2013) die het bestaan van de research-application gap bij productieondernemingen onderzochten en hiervoor empirisch bewijs vonden.

1.2 Bespreking structuur van de masterproef

Deze masterproef is opgedeeld in **twee grote delen: deel 1 Literatuurstudie & deel 2 Praktijkstudie.**

Deel 1 Literatuurstudie

De literatuurstudie heeft als doel de lezer de nodige kennis te verschaffen rond de **2 centrale thema’s van deze masterproef: het toewijzen van werknemers aan taken & de research-application gap bij retailbedrijven.** De bestaande literatuur wordt nauwgezet besproken. Vooraleer we overgaan tot de kern van de masterproef zijn er twee inleidende hoofdstukken.

In hoofdstuk 2 worden een aantal **elementaire aspecten van de retailsector** toegelicht. Deze masterproef behandelt immers de optimalisatie van de personeelsplanning *in de retailsector*. Het is dan ook van belang dat de lezer weet wat een retailbedrijf is en hoe het verschilt van bedrijven uit andere sectoren. In sectie 2.1 zal het concept “retail” duidelijk afgebakend worden op basis van een **definitie**. Hierna wordt in sectie 2.2 de **positie van de retailer**

binnen de volledige supply chain en de interactie met andere actoren besproken. Vervolgens wordt in sectie 2.3 het **huidige retaillandschap** onder de loep genomen. De lezer die nog extra informatie wenst in verband met de retailsector kan hiervoor bijlage A raadplegen.

In hoofdstuk 3 worden een aantal **basisprincipes in verband met het opstellen van een personeelsplanning** besproken. Eerst wordt er gewezen op het **belang van een goede personeelsplanning** voor een bedrijf (sectie 3.1). Vervolgens wordt in sectie 3.2 een **overzicht** gegeven van de beschikbare literatuur met betrekking tot personeelsplanning in het algemeen (sectie 3.2.1). Hierna volgt er een **vergelijkende studie** van de beschikbare literatuur met betrekking tot personeelsplanning in de retailsector (sectie 3.2.2). Tot slot wordt de **traditionele manier om personeelsplanningsproblemen aan te pakken**, toegelicht (sectie 3.3). Deze sectie is hoofdzakelijk gebaseerd op het werk van Thompson (1998a,b, 1999a,b) die het planningsproces opdeelt in vier stappen: (1) Voorspel de vraag; (2) Bepaal behoefte aan werknemers op basis van de voorspelde vraag; (3) Plan de shifts zodat aan de werknemersbehoefte voldaan wordt; (4) Realtime controle. Enkel stappen 3 & 4 worden in hoofdstuk 3 toegelicht (secties 3.3.1 en 3.3.2) omdat deze het meest relevant zijn voor deze masterproef. Meer informatie over de eerste 2 stappen van het personeelsplanningsproces kan geraadpleegd worden in bijlage B.

In hoofdstuk 4 introduceren we het eerste van de twee centrale thema's van deze masterproef, namelijk het **toewijzen van werknemers aan taken**. In dit hoofdstuk worden een aantal **basisinzichten** met betrekking tot het task allocation probleem besproken. Deze basisinzichten zijn noodzakelijk voor een goed begrip van het praktisch onderzoek van het task allocation probleem dat volgt in deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7. In sectie 4.1 wordt er **een overzicht van het bestaande onderzoek** met betrekking tot task allocation methodes gegeven. Vervolgens worden in sectie 4.2 een aantal **priority rules** (prioriteitsregels) voor het selecteren van taken en werknemers besproken. Tot slot wordt het **leerproces van de werknemers** tijdens het uitvoeren van de taken kort toegelicht in sectie 4.3. Zowel de priority rules als de parameter *learning* zullen immers een belangrijke rol spelen bij de experimenten die tijdens de praktijkstudie uitgevoerd zullen worden (zie deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7).

In hoofdstuk 5 wordt het tweede centrale thema van deze masterproef, namelijk de **research-application gap** behandeld. Hierbij gaan we op zoek naar de **onderliggende oorzaken** van

het bestaan van de research-application gap en bespreken we **mogelijke oplossingen**. We hebben ook eigen empirisch onderzoek gedaan naar het bestaan van de research-application-gap bij retailbedrijven (zie deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 8).

Deel 2 Praktijkstudie

Het praktijkgedeelte van deze masterproef begint met hoofdstuk 6, waarin **Delhaize Watersportbaan** voorgesteld wordt. Het praktische luik over de toewijzing van werknemers aan taken (zie hoofdstuk 7) werd immers uitgevoerd in samenwerking met Delhaize Watersportbaan. De informatie die in hoofdstuk 6 verschaft wordt, zal ervoor zorgen dat de lezer de experimenten die op de data van Delhaize Watersportbaan werden uitgevoerd (zie hoofdstuk 7, sectie 7.2.2) vlot zal kunnen volgen. In sectie 6.1 worden een aantal **basisgegevens**, zoals het aantal (voltijdse/deeltijdse) werknemers, het aantal afdelingen, ... opgelijst. Vervolgens wordt in sectie 6.2 de **huidige werkwijze voor het opstellen van de personeelsplanning** bij Delhaize Watersportbaan besproken. Tot slot, wordt in sectie 6.3 **toegelicht waarom we ervoor gekozen hebben om specifiek op het toewijzingsproces van werknemers aan taken te focussen**.

In hoofdstuk 7 worden de verschillende mogelijkheden om werknemers aan taken toe te wijzen uitvoerig onderzocht. We zullen dit doen op basis van een aantal **simulaties**. De experimenten worden eerst uitgevoerd op basis van **fictieve data** (zie sectie 7.1), hierna worden een aantal experimenten uitgevoerd met behulp van de **real-life data van Delhaize Watersportbaan** (zie sectie 7.2). Sectie 7.1 begint met een **probleemomschrijving** en de **introdunctie van het basisalgoritme** dat gebruikt zal worden bij het uitvoeren van de simulaties (zie sectie 7.1.1). Dit basisalgoritme werd overgenomen uit het werk *Learning and Exploiting Knowledge in Multi-Agent Task Allocation Problems* (Campbell & Wu, 2007). Nadat de werking van het basisalgoritme uitvoerig beschreven werd, gaan we over tot de experimenten (zie sectie 7.1.2). Deze worden, zoals reeds vermeld werd, uitgevoerd op basis van simulaties. Sectie 7.1.2 begint met een set van experimenten waarbij de **effecten van “leren”** bij verschillende toewijzingsmethodes getest worden (zie sectie 7.1.2.1). Deze sectie is hoofdzakelijk gebaseerd op het werk van Campbell & Wu (2007) en heeft als hoofddoel om de resultaten van Campbell & Wu (2007) te valideren en een aantal inzichten aan te brengen waar we dan verder op zullen bouwen gedurende de volgende experimenten. In sectie 7.1.2.2 wordt een

hybride methode (combinatie van twee toewijzingsmethodes) geïntroduceerd en uitvoerig getest. Sectie 7.1.2.3 bestaat uit **een aantal losse experimenten**. In de laatste sectie (sectie 7.1.2.4) worden er **verschillende priority rules** voor het selecteren van taken en voor het selecteren van werknemers uitgetest. In sectie 7.2 worden er 3 experimenten uitgevoerd voor de **real-life data van Delhaize Watersportbaan**. Na iedere set van experimenten worden de **conclusies** besproken. We vermelden nu al dat er een aantal interessante zaken aan het licht kwamen, zo speelt de gemiddelde duurtijd van de taken die uitgevoerd moeten worden, een belangrijke rol bij de selectie van de beste toewijzingsmethode. Voor een uitvoerige beschrijving van de resultaten verwijzen we u uiteraard door naar de desbetreffende secties in hoofdstuk 7. Tot slot wordt in sectie 7.3 de **bijdrage van het uitgevoerde onderzoek** aan de bestaande literatuur besproken.

In hoofdstuk 8 wordt op empirische wijze onderzocht of de **research-application gap**, die theoretisch besproken wordt in deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 5, ook aanwezig is bij Belgische retailbedrijven. Hiervoor werd een online vragenlijst opgesteld, die door 107 retailbedrijven ingevuld werd. Het doel van deze vragenlijst is om na te gaan **welke planning tools door retailbedrijven gebruikt worden** bij het opstellen van de personeelsplanning en waarom ze deze planning tools gebruiken. Tijdens dit onderzoek werden ook heel wat verschillende factoren die de complexiteit van het personeelsplanningsprobleem beïnvloeden, zoals het gebruikte shiftsysteem, onderzocht. Tot slot kregen de bevroegde bedrijven ook nog de kans om hun mening over bepaalde issues te formuleren. Zo werd bijvoorbeeld gevraagd wat de belangrijkste problemen zijn bij het opstellen van een personeelsplanning. Alle resultaten werden statistisch getest. Dit leidde tot een aantal **zeer interessante conclusies**, bijvoorbeeld: Excel is de populairste planning tool bij Belgische retailbedrijven. Voor een uitgebreide omschrijving van de gebruikte methodologie en bespreking van de resultaten verwijzen we u uiteraard door naar hoofdstuk 8.

In hoofdstuk 9 worden de belangrijkste **conclusies** van deze masterproef opgelijst en besproken. Hierbij worden ook de **onderzoeksvragen beantwoord**. Tot slot worden nog een aantal **richtlijnen voor verder onderzoek** meegegeven.

Deel I

Literatuurstudie

Hoofdstuk 2

De retailsector

Voor het vervolg van dit werk is het belangrijk dat de lezer een duidelijk beeld heeft van de retailsector. Dit werk gaat immers over de optimalisatie van personeelsplanning *in de retailsector*. Deze sector vertoont heel wat gelijkenissen, maar ook heel wat verschillen met andere sectoren. Daarom worden in dit hoofdstuk enkele elementaire aspecten van de retailsector besproken. De lezer die meent dat zijn kennis over de retailsector reeds voldoende uitgebreid is, kan dit hoofdstuk overslaan en onmiddellijk hoofdstuk 3 Personeelsplanning in de retailsector aanvatten.

In sectie 2.1 zal het concept “retail” duidelijk afgebakend worden op basis van een **definitie**. Hierna wordt in sectie 2.2 de **positie van de retailer binnen de volledige supply chain** en de interactie met andere actoren besproken. Vervolgens wordt in sectie 2.3 het **huidige retailschap** onder de loep genomen. Eerst worden de grootste spelers op wereldvlak behandeld (sectie 2.3.1), waarna de Europese retailmarkt van naderbij bekeken wordt (sectie 2.3.2). Ook de positie van Delhaize ten opzichte van haar globale concurrenten wordt besproken. Meer gedetailleerde informatie over Delhaize in het algemeen en Delhaize Watersportbaan volgt in deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 6 Voorstelling Delhaize Watersportbaan en bijlage D Voorstelling Delhaize Groep. Dit hoofdstuk zou moeten volstaan om de lezer een algemeen beeld van de retailsector te verschaffen, waardoor hij/zij voldoende kennis heeft om de rest van deze thesis aan te vatten. Indien de lezer nog extra informatie wenst, kan hij/zij bijlage A raadplegen. Hier worden de evolutie van retail (sectie A.1), het ontstaan van het supermarktconcept (sectie A.2) en de belangrijkste retailtrends (sectie A.3) besproken.

2.1 Definitie

In de literatuur zijn reeds veel verschillende definities voor het begrip “retail” verschenen. Sieh (1974) definieerde “retail” bijvoorbeeld als het doorverkopen van goederen, zonder ze te bewerken, voor persoonlijke consumptie of gezinsconsumptie. Cundiff & Still (1964) hebben het over “retail” wanneer er een transactie tussen een koper & verkoper plaats heeft en de koper de eindconsument is. De definitie die wij in het vervolg van deze thesis zullen gebruiken werd echter gegeven door professor Stanton (1975). Hij definieerde “retail” als **alle activiteiten die direct gerelateerd zijn aan de verkoop van goederen of diensten aan de (eind)consument**. Het belangrijkste verschil met voorgaande definities is dat ook de verkoop van diensten tot de retail gerekend wordt. Meestal vindt het volgende ruilproces plaats: het bedrijf levert het goed of de dienst en de consument geeft geld in de plaats. Retail en detailhandel worden vaak als synoniemen gebruikt. Nochtans is er een belangrijk verschil. Tot de detailhandel behoren enkel de bedrijven die goederen leveren aan de consument (Bos, S., 2016). Retail wordt gebruikt voor bedrijven die goederen *en/of* diensten leveren aan de consument.

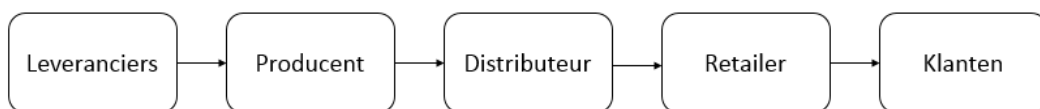
Er zijn heel wat bedrijven die op basis van bovenstaande definitie tot de retailsector gerekend kunnen worden. Het is echter mogelijk dat twee bedrijven die beiden tot de retailsector behoren toch redelijk sterk van elkaar verschillen. Daarom wordt de retailsector meestal verder onderverdeeld in een aantal (sub)categorieën. In *Een overzicht van de Belgische retailmarkt* (Retail Update, 2015) wordt de Belgische retailsector opgesplitst in 13 sectoren die dan nog eens onderverdeeld worden in 48 subsectoren. De 13 sectoren zijn:

- Consumentenelektronica
- Convenience
- Food retailers
- Department stores
- Doe-het-zelf
- Interieurinrichting
- Kleding & textiel
- Ontspanning & vrije tijd
- Persoonszorg
- Schoenen & lederwaren en accessoires
- Tweedehandsartikelen
- New retail
- Shoppingcentra

Vanden Borre (Consumentenelektronica), Delhaize (Food retailer), Gamma (Doe-het-zelf), C&A (Kleding & textiel) en Torfs (Schoenen & lederwaren en accessoires) zijn enkele voorbeelden van retailers in België.

2.2 Positie retailer binnen de supply chain

We weten ondertussen dat een retailer goederen of diensten levert aan klanten in ruil voor geld. De retailer is echter, zeker wanneer we focussen op goederen, slechts een deel van de volledige supply chain. Vooraleer goederen verkocht kunnen worden, moeten ze immers eerst geproduceerd worden. Figuur 2.1 geeft een overzicht van de verschillende actoren die actief zijn binnen deze supply chain. De goede werking van de supply chain hangt voornamelijk af van de samenwerking en communicatie tussen deze actoren. Hiervoor wordt vaak een beroep gedaan op **supply chain management**. Het doel van supply chain management is om de totale waarde die gecreëerd wordt te maximaliseren (Chopra & Meindl, 2016). Deze totale waarde wordt ook wel het supply chain surplus genoemd. Het supply chain surplus wordt bekomen door van de waarde voor de klant de supply chain kost af te trekken (supply chain surplus = waarde voor klant - supply chain kost). Het afstemmen van het aanbod op de vraag is één van de belangrijkste uitdagingen binnen de supply chain. Men streeft er bovendien naar om dit op de meest kostenefficiënte manier te doen.



Figuur 2.1: Overzicht supply chain

Klanten

De klanten worden meestal gezien als de **belangrijkste actoren binnen de supply chain** (Chen *et al.*, 2013, Hoofdstuk 1). De vraag van de klant is immers de katalysator van het volledige supply chain proces. Als er geen vraag is, zijn alle andere actoren van de supply chain overbodig. Daarom stellen de andere actoren de planning van hun processen meestal af op de (verwachte) vraag van de klant.

Retailer

Retailers treden op als **tussenpersoon voor producenten en klanten**. Ze bouwen een voorraad op van een ruim assortiment aan producten, die ze dan kunnen aanbieden aan hun klanten. De belangrijkste voordelen voor de klanten zijn: *one-stop shopping* (ze kunnen al hun producten op dezelfde plaats kopen), competitieve prijzen (door de concurrentie tussen verschillende retailers) en financiële services (vb. kopen op krediet). De belangrijkste voordelen voor de producenten zijn: een plaats op de winkelrekken van de retailer om hun producten te etaleren en data over het aantal aankopen (waardoor de producent zijn aanbod beter kan afstellen op de vraag).

Distributeur

Distributeurs treden op als **tussenpersoon voor producenten en retailers**. Distributeurs kopen grote hoeveelheden van een bepaald product en verspreiden deze over de retailers. Hierdoor kan de producent in grote hoeveelheden produceren en optimaal gebruik maken van schaalvoordelen. Voor retailers is het grote voordeel dat ze niet moeten instaan voor het ophalen van de producten, deze worden immers geleverd door de distributeur.

Producent

De producent **maakt goederen die een bepaalde waarde hebben voor de klant** door grondstoffen, onderdelen, halfafgewerkte producten, ... om te zetten in een afgewerkt product. De productie kan volledig in-house gebeuren, hierbij wordt een product volledig door één en hetzelfde bedrijf gemaakt. Een bedrijf kan echter ook bepaalde processen outsourcen, het eindproduct is dan het resultaat van een samenwerking tussen verschillende bedrijven. Het gebruikte productieproces - *build to stock, configure to order, engineer to order, ...* - heeft een zeer grote invloed op het ideale design en de ideale werking van de supply chain. De lezer die meer informatie wenst te verkrijgen over de invloed van het gebruikte productieproces verwijzen we door naar de literatuur. *Factory Physics* (Hopp & Spearman, 2011) is een werk waarin het belang van verschillende soorten productieprocessen zeer goed wordt uitgelegd.

Leveranciers

Leveranciers zorgen voor de **essentiële input die nodig is voor het productieproces van de producent**. Deze input kan bestaan uit grondstoffen, bepaalde onderdelen, samengestelde componenten, . . . die dan door de producent omgezet worden in een eindproduct (cfr. supra). Leveranciers voegen een bepaalde expertise en efficiëntie toe aan de supply chain, die de meeste producenten niet zelf zouden kunnen garanderen.

In sommige supply chains zijn er nog andere actoren, bijvoorbeeld de **groothandelaar**. Deze koopt een grote hoeveelheid producten aan bij de producent en verkoopt deze dan door aan retailers (met een bepaalde winstmarge natuurlijk). Groothandelaars treden vooral op als tussenpersoon voor kleinere retailers omdat het volume dat zij afnemen te klein is om rechtstreeks bij de producent aan te kopen.

Soms probeert een bedrijf ook om meerdere schakels van de supply chain in handen te krijgen. Dit fenomeen wordt **verticale integratie** genoemd. Bedrijven doen dit vooral om minder afhankelijk te zijn van andere bedrijven. Een belangrijke voorwaarde om verticale integratie toe te passen is natuurlijk dat het bedrijf de nodige resources en competenties moet bezitten om de verschillende taken uit te voeren. De Spaanse kledingketen Zara is een schoolvoorbeeld van verticale integratie (Chopra & Meindl, 2016). Zara produceert, distribueert en verkoopt haar producten zelf. Hierdoor kan Zara haar collectie zeer frequent wijzigen. Dit is een groot concurrentieel voordeel ten opzichte van andere merken die enkel een zomer- en wintercollectie hebben.

In deze sectie werden enkel de basisconcepten van een supply chain uitgelegd. Voor meer uitleg omtrent supply chain (management) verwijzen we u door naar de vakliteratuur. In het boek *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation* (Chopra & Meindl, 2016) worden de vereisten voor een goedwerkende supply chain grondig besproken.

2.3 Het huidige retailschap

Welke spelers domineren de retailmarkt? Welke retailers genereren de grootste inkomsten? Hoe doen de Belgische retailers het op wereldniveau? Hoe is de Europese retailmarkt georganiseerd? Wat is de invloed van de Europese Unie? Dit zijn enkele vragen die in deze sectie

beantwoord zullen worden.

2.3.1 Grootste retailers ter wereld

Elk jaar publiceert Deloitte een *Global Powers of Retailing* rapport, waarin ze de retailsector grondig onder de loep nemen. Naast het bespreken van de belangrijkste trends¹ binnen de retail, publiceren ze ook steeds een **Top 250 Global Retailers ranglijst**². Hierin worden de beste 250 retailers gerangschikt op basis van hun inkomsten. Tabel 2.1³ geeft een overzicht van de top 10 retailers wereldwijd, aangevuld met een aantal interessante bedrijven.

Ranking	Naam van het bedrijf	Land van oorsprong	Netto retail inkomsten 2013 (in miljoen US\$)	Sector	Aantal landen actief in 2013	Samengestelde groei van de retail inkomsten (2008-2013)
1	Wal-Mart Stores, Inc.	Verenigde Staten	476.294	Hypermarket/Supercenter/Superstore	28	3,3%
2	Costco Wholesale Corporation	Verenigde Staten	105.156	Cash & Carry/Warehouse Club	9	7,7%
3	Carrefour S.A.	Frankrijk	98.688	Hypermarket/Supercenter/Superstore	33	-3,0%
4	Schwarz Unternehmens Treuhand KG	Duitsland	98.662	Discount Store	26	6,5%
5	Tesco PLC	Verenigd Koninkrijk	98.631	Hypermarket/Supercenter/Superstore	13	2,9%
6	The Kroger Co.	Verenigde Staten	98.375	Supermarket	1	5,3%
7	Metro Ag	Duitsland	86.393	Cash & Carry/Warehouse Club	32	-0,9%
8	Aldi Einkauf GmbH & Co. oHG	Duitsland	81.090	Discount Store	17	5,5%
9	The Home Depot, Inc.	Verenigde Staten	78.812	Home improvement	4	2,0%
10	Target Corporation	Verenigde Staten	72.596	Discount Department Store	2	2,9%
15	Amazon.com, Inc	Verenigde Staten	60.903	Non-store	14	26,7%
24	Koninklijke Ahold N.V.	Nederland	43.321	Supermarket	7	4,9%
25	Best Buy Co., Inc.	Verenigde Staten	42.410	Electronics Specialty	5	-1,2%
26	J Sainsbury plc	Verenigd Koninkrijk	38.031	Supermarket	1	4,8%
33	Delhaize Group SA	België	28.037	Supermarket	9	2,1%
46	Apple Inc./Apple Retail Stores	Verenigde Staten	20.228	Electronics Specialty	14	22,6%
49	H&M Hennes & Mauritz AB	Zweden	19.729	Apparel/Footwear Specialty	54	7,7%
61	The Gap, Inc.	Verenigde Staten	16.148	Apparel/Footwear Specialty	54	2,1%
84	Louis Delhaize S.A.	België	11.689	Hypermarket/Supercenter/Superstore	6	-4,4%
109	C&A Europe	België/Duitsland	9.733	Apparel/Footwear Specialty	21	3,0%
122	Colruyt Group	België	8.760	Supermarket	3	6,2%

Tabel 2.1: Overzicht grootste retailers ter wereld

Wanneer we kijken naar de top 10, zien we dat 9 van de 10 bedrijven actief zijn in de hypermarkt, supermarkt, discount, ... sector. Het is duidelijk dat in deze subsectoren van de retail veel meer inkomsten gegenereerd worden dan in andere subsectoren (bijvoorbeeld kleding en

¹Meer informatie in verband met de belangrijkste retailtrends is beschikbaar in Bijlage A, sectie A.3.

²Deze ranglijst wordt steeds opgesteld op basis van gegevens van enkele jaren ervoor (omdat de huidige cijfers nog niet beschikbaar zijn).

³Deze cijfers hebben betrekking op het jaar 2013 en zijn overgenomen uit het *Global Powers of Retailing 2015* rapport (Deloitte, 2015). De gegevens met betrekking tot de sector van de bedrijven werden onvertaald overgenomen om verwarring te vermijden.

schoenen). Binnen de top 10 zien we dat Wal-Mart zich nog eens duidelijk distantieert van de rest. Haar inkomsten zijn immers minstens vier keer groter dan deze van andere retailers.

Een andere vaststelling is dat de top 10 bevolkt wordt door bedrijven uit de Verenigde Staten (5) en de Europese grootmachten (Duitsland, Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk). De Belgische en Nederlandse retailers moeten verder in de lijst gezocht worden. Koninklijke Ahold NV (de groep achter onder andere Albert Heijn) prijkt op een 24ste plaats. **De bestgenoteerde Belgische retailer is de Delhaize Groep op een 33ste plaats.** Deze plaats heeft ze vooral te danken aan haar activiteiten in Amerika, waar het grootste deel van haar inkomsten gegeneerd worden. Wanneer we enkel naar de Belgische markt kijken, is Colruyt Group de grootste speler. In totaal staan er vier Belgische retailers in de top 250. Voor meer informatie over de Belgische retailmarkt en de positie van Delhaize binnen deze markt kan de lezer terecht in bijlage D Voorstelling Delhaize Groep, sectie D.4 Concurrentie in België.

Tot slot willen we nog wijzen op de opmars van twee retailers, Amazon.com en Apple Retail Stores. Deze bedrijven staan momenteel nog niet in de top 10, maar hun samengestelde groei van de inkomsten (2008-2013) doet vermoeden dat dit niet meer zo lang zal duren. De opkomst van dergelijke bedrijven, die gebruik maken van nieuwe technologieën en concepten, heeft nefaste gevolgen voor een aantal gevestigde waarden. Zo zien we dat bijvoorbeeld Carrefour S.A. en Metro Ag een negatieve samengestelde groei van de inkomsten (2008-2013) lieten optekenen. Dergelijke bedrijven moeten ervoor zorgen dat ze meeëvolueren met hun tijd, want anders zouden ze wel eens snel kunnen worden ingehaald door andere, snelgroeiende bedrijven.

2.3.2 De Europese retailmarkt

In deze sectie zullen we de focus verleggen van de globale retailmarkt naar de Europese retailmarkt. Het is namelijk vooral op deze markt dat wij allen actief zijn als consument. In het eerste deel wordt gewezen op het belang van de retailsector voor de Europese economie. Een tweede deel behandelt een aantal karakteristieken van de Europese retailmarkt.

Belang Europese retailmarkt

Het belang van de Europese retailmarkt binnen de Europese economie mag niet onderschat worden. Retail zorgt voor **11,1% van het BBP binnen de Europese Unie** en **33 miljoen jobs**, dit komt overeen met bijna 15% van alle tewerkstelling binnen de EU (Europese Commissie, 2015). De EU onderkent dit belang en in 2013 heeft de Europese Commissie dan ook een *Europees actieplan inzake detailhandel* opgesteld. Dit plan bevat een aantal acties om een ééngemaakte retailmarkt te realiseren, de performantie van de sector te verbeteren en de bijdrage van de retailsector aan de Europese 2020 strategie te verzekeren (Europese Commissie, 2013).

Karakteristieken

GfK bracht in 2015 een studie uit waarbij de Europese retailmarkt onderzocht werd (GfK Group, 2015). De studie bespreekt de resultaten van 2014 en doet voorspellingen voor 2015. Hieronder volgt een overzicht van een aantal interessante kenmerken van de Europese retailmarkt.

De koopkracht van de Europeaan hangt af van zijn woonplaats. De gemiddelde koopkracht per capita⁴ van de Europeanen bedroeg tijdens 2014 € 15.360, dit is een stijging met 2,5% ten opzichte van 2013. De prijs van consumptiegoederen steeg in diezelfde periode met gemiddeld 0,6%. Er zijn echter zeer grote koopkrachtverschillen tussen de verschillende Europese landen. In Noorwegen bedroeg de koopkracht per capita bijvoorbeeld € 30.560, terwijl dit in Bulgarije slechts € 3.097 was. Ook binnen hetzelfde land kunnen er grote verschillen optreden. Meestal ligt de koopkracht in de (grote) steden veel hoger dan op het platteland. In het algemeen kunnen we zeggen dat de koopkracht het grootst is in Noord- en West-Europa. In Zuid-Europa ligt deze al beduidend lager en in Oost-Europa is ze nog lager. In België bedroeg de koopkracht per capita tijdens 2014 ongeveer € 25.000 (Indexmundi, 2015).

⁴**De koopkracht per capita** meet het netto beschikbaar inkomen van een persoon, inclusief subsidies van de overheid zoals pensioengeld, werkloosheidsuitkering en kindergeld. Uitgaven met betrekking tot voedsel, huisvesting, diensten, vakantie, verzekering, private pensioenplannen en retailuitgaven moeten met dit bedrag betaald worden (Indexmundi, 2015).

Omzet verschuift van offline retail naar online retail. Globaal gezien vond er in Europa tijdens 2014 een stagnatie van de omzet uit offline retail plaats. Afhankelijk van welke landen men tot Europa rekent, rapporteert men een daling van 0,5% (voor de EU-32, waar onder andere Rusland toe behoort) en een stijging van 1% (voor de EU-28). Dit verschil is vooral te wijten aan de wisselkoersverschillen tussen landen die wel en niet de euro gebruiken. Wanneer we geen rekening houden met de wisselkoersverschillen zien we een stagnatie van de omzet ten opzichte van 2013. Op basis van de absolute cijfers voor de verschillende landen van Europa zien we dat de Europese grootmachten Frankrijk (€ 420,4 biljoen), Duitsland (€ 408 biljoen) en het Verenigd Koninkrijk (€ 397,2 biljoen) de grootste omzet genereren. België volgt op een tiende plaats met een omzet van € 81,1 biljoen.

Ondanks de stagnatie van de offline retail is de totale retailsector nog steeds aan het groeien. Momenteel is er immers een expansie van de online retailmarkt aan de gang. In 2015 publiceerde Ecommerce Europe in samenwerking met GfK het *European B2C E-commerce 2015 report* (Ecommerce Europe, 2015). Volgens dit rapport groeide de online retailsector in West-Europa met 13,3% in 2014. Het Verenigd Koninkrijk (30,0%), Duitsland (16,8%) en Frankrijk (13,4%) zijn verantwoordelijk voor het grootste deel van de online aankopen binnen Europa. **België hinkt wat achterop en vertegenwoordigt slechts 1% van de online aankopen**, al is er de laatste jaren wel een sterke groei merkbaar. In 2014 waren er 6 miljoen *e-shoppers* in België. Deze spendeerden gemiddeld per jaar € 722 online. Dit komt overeen met een omzet van € 4,3 biljoen, wat een stijging is van 14,3% ten opzichte van 2013.

In vele landen is de online retailmarkt nog in volle expansie. Tot voor kort boden de meeste nationale retailers immers nog geen gebruiksvriendelijk online aankoopplatform aan, bovendien duurt het enkele jaren vooraleer dit systeem volledig ingeburgerd raakt onder de bevolking. Dat de online retailsector nog in haar kinderschoenen staat ten opzichte van de offline retailsector bewijzen volgende cijfers: online verkopen vertegenwoordigen slechts 7,3% van de totale retailverkopen in West-Europa, in Centraal- en Oost-Europa is dit 2,8%.

Slechts een beperkt deel van het hoger inkomen wordt besteed aan retail. In 2014 zagen we een daling van 0,3% (2014: 30,9%, 2013: 31,2%) van het deel van het beschikbaar inkomen dat aan retail uitgegeven werd. Gedurende deze periode steeg het gemiddeld beschikbaar inkomen van de Europeaan, maar dit extra geld wordt blijkbaar niet besteedt

aan retailaankopen. We zien dat mensen een bepaald bedrag besteden aan retail om in hun basisbehoeften te voorzien. Wanneer deze voldaan zijn, focust men meer op huisvesting, gezondheid en ontspanning dan op extra retailuitgaven. We kunnen dus concluderen dat Europeanen nog steeds hetzelfde absolute bedrag uitgeven aan retail, maar door de stijging van het beschikbaar inkomen vertegenwoordigt dit een lager procentueel bedrag.

Hoofdstuk 3

Personeelsplanning in de retailsector

In dit hoofdstuk zullen de belangrijkste aspecten voor het opstellen van een personeelsplanning in de retailsector besproken worden. Op basis van deze inzichten, verdiepen we ons in hoofdstuk 4 op een zeer specifiek onderdeel van het personeelsplanningsproces, namelijk het toewijzen van taken aan werknemers. Inzicht in het personeelsplanningsproces is ook noodzakelijk om de research-application gap, die in hoofdstuk 5 behandeld wordt, volledig te kunnen begrijpen.

Het opstellen van een personeelsplanning is een proces dat uit verschillende stappen bestaat. Bovendien kunnen de beslissingen die tijdens het opstellen van de personeelsplanning genomen moeten worden, opgedeeld worden in verschillende categorieën op basis van de tijdsperiode waarop ze betrekking hebben. Ten eerste moeten op de lange termijn **strategische beslissingen** genomen worden omtrent de bezettingsvereisten en het personeelsbeleid. Op de middellange termijn worden **tactische beslissingen** genomen met betrekking tot het planningsbeleid (objectieven, restricties, personeelskarakteristieken en taakkarakteristieken spelen hierbij een belangrijke rol). Tot slot moeten er op de korte termijn **operationele beslissingen** genomen worden, waarbij werknemers effectief worden toegewezen aan het personeelsrooster en de planning dagelijks wordt opgevolgd. **Deze thesis focust zich vooral op tactische en operationele beslissingen.**

Sommige aspecten van de personeelsplanning zijn van toepassing voor alle ondernemingen, andere niet. Vandaar dat er gedurende dit hoofdstuk gewezen wordt op de **specifieke eigenschappen van retailbedrijven**, die een invloed hebben op het personeelsplanningsprobleem.

In sectie 3.1 wordt gewezen op het **belang van een efficiënte personeelsplanning** voor retailbedrijven. Deze bedrijven zullen enkel inspanningen willen leveren om hun personeelsplanning te optimaliseren als de verwachte return voldoende hoog is. Vervolgens wordt in sectie 3.2 een overzicht gegeven van de beschikbare literatuur over **personeelsplanning in het algemeen** (sectie 3.2.1) en **personeelsplanning binnen de retailsector in het bijzonder** (sectie 3.2.2). Hierna wordt de **traditionele manier om personeelsplanningsproblemen aan te pakken**, toegelicht (sectie 3.3). Deze sectie is hoofdzakelijk gebaseerd op het werk van Thompson (1998a,b, 1999a,b) die het planningsproces opdeelt in vier stappen: (1) Voorspel de vraag; (2) Bepaal behoefte aan werknemers op basis van de voorspelde vraag; (3) Plan de shifts zodat aan de werknemersbehoefte voldaan wordt; (4) Realtime controle. Enkel stappen 3 & 4 worden in dit hoofdstuk toegelicht (secties 3.3.1 en 3.3.2) omdat deze het meest relevant zijn voor deze thesis. De 2 centrale topics van deze thesis, het toewijzen van werknemers aan taken en de research-application gap, zijn immers hoofdzakelijk gerelateerd aan deze stappen. De lezer die meer informatie wenst over de eerste 2 stappen van het personeelsplanningsproces wordt doorverwezen naar bijlage B.

3.1 Belang personeelsplanning

Een goed uitgebalanceerde personeelsplanning is van belang voor iedere onderneming. Onderbezetting leidt tot een verhoogde werkdruk, ontevreden werknemers, langere wachttijden voor de klant, ... Overbezetting zorgt voor te hoge kosten, een gebrek aan efficiëntie en productiviteit, verveling bij het personeel, ... Het is duidelijk dat beide situaties suboptimaal zijn en men moet streven naar een personeelsplanning waarbij er net genoeg werknemers aanwezig zijn (Lijkendijk, G., 2016). Natuurlijk is dit gemakkelijker gezegd dan gedaan, zeker wanneer de vraag moeilijk te voorspellen is en zeer sterk fluctueert. Dit is bijvoorbeeld het geval in de retailsector. In de gemiddelde supermarkt, zoals Delhaize Watersportbaan, ziet men over de middag en 's avonds een piek in het aantal klanten (De Brouwer, B., 2015). Naast het tijdstip zijn er nog heel wat andere factoren die het aantal klanten

beïnvloeden (bv. het weer) en dit maakt het net zo moeilijk om een goede personeelsplanning op te stellen. Een goede personeelsplanning is een planning die zowel voorziet in de organisatiebehoefte als in de behoeften van het personeel (Lijkendijk, G., 2016).

Momenteel zijn er een aantal trends zoals groeiende concurrentie, vergrijzing, zelfbewustere werknemers en klanten, ... aan de gang die ervoor zorgen dat bedrijven steeds meer verplicht worden om te focussen op efficiëntie, effectiviteit en flexibiliteit (Nillesen, R., 2016).

Strategische personeelsplanning is hiervoor het ideale middel aangezien het ervoor zorgt dat de beslissingen met betrekking tot de personeelsplanning in lijn liggen met de algemene strategie van de onderneming. Volgens het HR Benchmark Onderzoek (Raet, 2016), waar 506 HR-managers en 117 bestuurders aan meewerkten, staat strategische personeelsplanning bovenaan de prioriteitenlijst van HR-managers in 2016. 35% van de ondervraagden noemde strategische personeelsplanning één van de drie belangrijkste prioriteiten voor het komende jaar. Hiermee scoort strategische personeelsplanning duidelijk beter dan bijvoorbeeld opleiding & ontwikkeling (31%), mobiliteit van personen (21%), werving & selectie (17%), arbeidsvoorwaarden & beloning (17%), ... Deze cijfers tonen aan dat HR-managers wel degelijk het belang van een goede personeelsplanning onderkennen.

Eén van de belangrijkste redenen om te focussen op een goede personeelsplanning is de **mogelijkheid om kosten te besparen**. Een Nederlands onderzoek (Marshoek, 2012) toonde aan dat de supermarkten in Nederland € 150 miljoen kunnen besparen op de loonkosten. Deze besparingen worden gerealiseerd wanneer men het aandeel van de personeelskosten ten opzichte van de totale omzet kan laten dalen met 0,5%. Momenteel ligt het loonkostenpercentage van de meeste supermarkten tussen de 8 en 9 procent. Om significante kostenbesparingen te realiseren moet je ervoor zorgen dat de juiste werknemer op het juiste moment op de juiste plaats wordt ingepland. Hoe groter de onderneming, hoe complexer deze denkoefening wordt. Vandaar dat er heel wat softwarepakketten bestaan voor de optimalisatie van een personeelsplanning.

Natuurlijk moet men bij de optimalisatie van de personeelsplanning niet enkel naar de kosten kijken. **Personeels- en klantentevredenheid** zijn andere aspecten waar rekening mee gehouden moet worden. Wanneer men dit niet doet, zullen de gerealiseerde kostenbesparingen niet opwegen tegen de veroorzaakte nadelige effecten (vb. ontevreden personeel → stakingen → ontevreden klanten + grote kost voor de onderneming).

Het is bovendien zeer belangrijk om rekening te houden met **sectorspecifieke eigenschappen**. Voor de retailsector zijn deze: steeds meer gebruik van flexibele arbeid, hogere servicebehoefte van de klant (leidt o.a. tot ruimere openingstijden en toenemende personeelskosten), intensieve concurrentie (waardoor permanente aandacht voor loonkosten en maximale winkelperformance noodzakelijk is) en meer aandacht voor “Work-life balance” & werknemersparticipatie (De Brouwer, B., 2015). Meer uitleg over de mogelijke objectieven van een personeelsplanning volgt in sectie 3.3.1.3 Objectieven.

3.2 Overzicht literatuur

3.2.1 Personeelsplanning

Vanaf de tweede helft van de 20ste eeuw is het **personeelsplanningsprobleem over heel de wereld uitgebreid onderzocht**. Men verklaart de interesse voor dit soort problemen vooral door economische motieven. De personeelskost is bij de meeste bedrijven immers de grootste directe kost (Van den Bergh *et al.*, 2013). Deze kost met enkele percenten doen zakken door het invoeren van een nieuwe personeelsplanning kan zeer voordelig zijn voor deze bedrijven.

In deze sectie zal een beknopt overzicht van de beschikbare literatuur over personeelsplanningsproblemen en de verschillende evoluties gegeven worden. De sectie is hoofdzakelijk gebaseerd op volgende werken: *Personnel scheduling: A literature review* (Van den Bergh *et al.*, 2013) en *An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering* (Ernst *et al.*, 2004a). De lezer die een gedetailleerder beeld wenst te krijgen over de beschikbare literatuur rond personeelsplanningsproblemen wordt doorverwezen naar deze papers. Hierin worden honderden relevante werken besproken.

3.2.1.1 Eerste stappen

Edie wordt gezien als de eerste persoon die het personeelsplanningsprobleem op een min of meer wetenschappelijke manier in kaart heeft gebracht (Edie, 1954). In *Traffic delays at toll booths* beschrijft hij de situatie waarbij voertuigen tolgeld moeten betalen bij het gebruik van een tunnel of brug. Het innen van dit tolgeld gebeurde toen door politieagenten. Om het optimale aantal politieagenten te bepalen, moest een afweging gemaakt worden tussen het **minimaliseren van het personeel** enerzijds en het **leveren van de gewenste service** anderzijds. De kwaliteit van de geleverde service werd gemeten door de wachttijden van de voertuigen bij te houden. Tot dan toe werd het benodigde aantal werknemers bepaald op basis van ervaring en simpele vuistregels. Dit leidde echter tot een hoge personeelskost en een slechte service. Edie pakte dit probleem aan door gebruik te maken van statistische technieken, onder meer de wachtlijtheorie. Hierdoor kon hij veel preciezer bepalen hoeveel werknemers er op ieder moment nodig waren. Deze aanpak leidde tot een daling van de personeelskost en een betere service.

Niet veel later schreef Dantzig *A comment on edie's traffic delay at toll booths* (Dantzig, 1954). In dit werk geeft hij commentaar op de paper van Edie en doet hij een aantal suggesties ter verbetering. Eén van de belangrijkste suggesties is het gebruik van **lineaire programmeringsmethodes** om het probleem van de tolhuizen op te lossen.

3.2.1.2 Classificatiemethodes

Personeelsplanningsproblemen kunnen op basis van hun eigenschappen ingedeeld worden in verschillende klassen. Doorheen de geschiedenis zijn er heel wat verschillende classificatiemethodes opgesteld om dit te doen. Hieronder geven we een overzicht van de belangrijkste.

Eén van de eerste classificatiemethodes voor personeelsplanningsproblemen werd opgesteld door Baker (1976). Volgens hem kunnen drie groepen onderscheiden worden: *shift scheduling*, *days off scheduling* en *tour scheduling*. Bij **shift scheduling** wordt er gekeken naar de dagelijkse planningshorizon en moeten werknemers toegewezen worden aan shifts. Er moet een onderscheid gemaakte worden tussen overlappende en niet-overlappende shifts. Wanneer het bedrijf werkt met niet-overlappende shifts, wat vaak het geval is voor industriële bedrijven, kan de werknemersbehoefte per shift apart bepaald worden. Het voordeel hiervan is

dat de toewijzing van werknemers aan shifts vrij éénvoudig kan gebeuren en dat de oplossing gemakkelijk geïmplementeerd kan worden. Wanneer de vraag sterk fluctueert is het aangeraden om overlappende shifts te gebruiken. Zo kunnen pieken in de vraag opgevangen worden. Callcenters en retailbedrijven zijn typische bedrijven waar dit het geval is. De toewijzing van werknemers aan overlappende shifts is complexer dan de toewijzing van werknemers aan niet-overlappende shifts. Bij **days off scheduling** moet er bepaald worden gedurende welke dagen de werknemer moet werken en welke dagen de werknemer vrij is. Een aantal zaken bemoeilijken deze oefening. Een eerste probleem is het verschil tussen een werkweek van een werknemer (die meestal uit vijf dagen bestaat) en de werkweek van het bedrijf (die meestal uit zeven dagen bestaat). Een ander probleem kan zijn dat de vrije dagen van de werknemer opéénvolgend moeten zijn. **Personnel tour scheduling** is een combinatie van shift scheduling en days off scheduling. Bij personnel tour scheduling zijn bedrijven zeven dagen per week actief en is er iedere dag meer dan één shift. Voor iedere werknemer wordt er een *tour* bepaald. Dit zijn de uren voor iedere dag en de dagen van de week die de werknemer moet werken. Hierbij moet natuurlijk rekening gehouden worden met dagelijkse en wekelijkse pauzes. Eén van de zaken die een grote invloed heeft op de complexiteit van tour scheduling problems is het gebruikte planningsinterval (hoe kleiner dit interval, hoe complexer). Planningsintervallen variëren typisch tussen 15 minuten en 8 uur.

Een andere eigenschap van personeelsplanningsproblemen die vaak als classificatiemethode gebruikt wordt, is de **gebruikte oplossingsmethode**. Bechtold *et al.* (1991) delen de oplossingsmethodes op in twee categorieën: *linear programming* en *construction based*. Verschillende auteurs hebben hierna nog categorieën toegevoegd aan deze theorie. Alfares (2004) onderscheidde bijvoorbeeld tien categorieën binnen de tour scheduling werkwijze. Deze zijn: (1) manuele oplossing, (2) integer programming, (3) impliciete modellering, (4) decompositie, (5) goal programming, (6) working set generation, (7) LP-based solution, (8) construction/improvement, (9) metaheuristieken en (10) andere methodes.

Ernst *et al.* (2004b) ontwikkelden op basis van de beschikbare literatuur een nieuwe classificatiemethode die gebaseerd was op een aantal **modules**: *demand modeling*, *days off scheduling*, *shift scheduling*, *line of work construction*, *task assignment* en *staff assignment*. Afhankelijk van de toepassing moeten dan een aantal van deze modules gecombineerd worden om het

personeelsplanningsprobleem op te stellen. In diezelfde paper werd ook een classificatiemethode gesuggereerd om de mogelijke methodes en technieken om een (personeels)rooster op te stellen, in te delen in klassen. Deze klassen zijn: (1) Demand modeling, (2) artificial intelligence approaches, (3) constraint programming, (4) metaheuristieken en (5) mathematical programming approaches.

3.2.1.3 Overzichtspapers

Ernst *et al.* (2004a) geven in *An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering* een overzicht van 700 werken die het personeelsplanningsprobleem behandelen. Deze werken worden geclassificeerd op basis van het type probleem, toepassingsgebied van het probleem en gebruikte oplossingsmethode. Bovendien wordt er van iedere paper ook een korte samenvatting gegeven. Deze paper is het ideale werk om een zicht te krijgen op het reeds uitgevoerde onderzoek. Het is ook een interessant hulpmiddel om papers op te sporen die gerelateerd zijn aan het personeelsplanningsprobleem dat je zelf aan het onderzoeken bent. Het grootste nadeel is dat deze paper reeds in 2004 geschreven werd en de meest recente literatuur hier dus niet in opgenomen is.

Andere populaire overzichtspapers werden geschreven door Tien & Kamiyama (1982) en Thompson (1998a,b, 1999a,b). Zij delen het opstellen van een personeelsplanning op in een aantal stappen. In sectie 3.3 De verschillende onderdelen van het planningsproces, zullen we het personeelsplanningsproces doorlopen aan de hand van de vier stappen die Thompson (1998a,b, 1999a,b) definieerde.

Burke *et al.* (2004) publiceerden een paper die een overzicht gaf van de literatuur die specifiek gericht is op *nurse rostering problems* (het opstellen van een personeelsplanning voor verpleegsters). Naast de vrij voor de hand liggende indelingscriteria zoals de gebruikte oplossingsmethode, restricties en performantiemaatstaven gebruikten ze ook minder voor de hand liggende indelingscriteria zoals de planningsperiode, de gebruikte data (echte of theoretische data), het aantal benodigde vaardigheden, ... Hierdoor zijn ze in staat om een zeer gedetailleerde vergelijking van de beschikbare literatuur te geven.

Een vrij recente overzichtspaper, die verscheen in 2013, werd geschreven door Van den Bergh *et al.* Hierin wordt een overzicht gegeven van de literatuur over personeelsplanningsproblemen

die verscheen in de periode januari 2004 - juli 2012. In totaal werden er 291 papers gevonden. Deze papers worden vervolgens vergeleken op basis van heel wat verschillende indelingscriteria zoals personeelskarakteristieken, gebruikte restricties, gebruikte oplossingsmethode, ... In de volgende sectie, sectie 3.2.2 Personeelsplanning in de retailsector, worden de beschikbare papers uit de retailsector vergeleken op basis van deze criteria.

Tot slot geeft tabel 3.1¹ een overzicht van de tijdschriften² waarin de papers, die in de overzichtspaper van Van den Bergh *et al.* gebruikt worden, verschenen. Zo krijgt de lezer zicht op welke tijdschriften literatuur omtrent personeelsplanningsproblemen publiceren. De tabel identificeert een aantal populaire tijdschriften, maar hetgeen het meest opvalt is de grote restgroep. Dit wijst erop dat heel wat verschillende tijdschriften literatuur met betrekking tot personeelsplanningsproblemen publiceren. Hetgeen impliceert dat het niet éénvoudig is om alle relevante literatuur op te sporen. Het gebruik van gesofisticeerde zoekmachines kan hierbij een belangrijk voordeel opleveren.

Tijdschrift	Aantal publicaties	Percentage
European Journal of Operational Research	47	16,2%
Annals of Operations Research	35	12,0%
Journal of the Operational Research Society	16	5,5%
Journal of Scheduling	13	4,5%
Computers & Operations Research	11	3,8%
IIE Transactions	7	2,4%
Health Care Management Science	6	2,1%
Journal of Heuristics	6	2,1%
Interfaces	5	1,7%
International Journal of Production Economics	5	1,7%
Andere tijdschriften	140	48,1%

Tabel 3.1: Aantal publicaties omtrent personeelsplanning per tijdschrift

3.2.2 Personeelsplanning in de retailsector

Vorige sectie toonde aan dat personeelsplanning een populair onderwerp is. Er is zeer veel literatuur over beschikbaar. Wanneer we de overzichtspaper van Van den Bergh *et al.* (2013) in detail bestuderen, zien we dat er reeds zeer veel literatuur verschenen is over personeelsplanningsproblemen in de transportsector (luchtvaart, treinen, metro's, ...) en de servicesector (ziekenhuizen, callcenters, ...). **De beschikbare literatuur over personeelsplannings-**

¹Deze tabel werd in aangepaste vorm overgenomen uit *Personnel scheduling: A literature review* (Van den Bergh *et al.*, 2013).

²Enkel tijdschriften met vijf of meer publicaties werden opgenomen.

problemen in de retailsector is echter beperkt. Na een uitgebreide studie vonden we een zestal papers die dit onderwerp behandelen. In deze sectie zullen we eerst een aantal specifieke kenmerken van de retailsector met betrekking tot de personeelsplanning bespreken (zie sectie 3.2.2.1). Deze specifieke kenmerken zorgen ervoor dat het opstellen van een personeelsplanning bij een retailbedrijf (op bepaalde vlakken) anders verloopt dan bij een bedrijf uit een andere sector. Hierna volgt een overzicht van de onderzochte papers (zie sectie 3.2.2.2). Tot slot worden deze papers vergeleken op basis van een aantal eigenschappen die typisch zijn voor personeelsplanningsproblemen (zie sectie 3.2.2.3).

3.2.2.1 Overzicht specifieke kenmerken van de retailsector in verband met personeelsplanning

De retailsector is een **zeer arbeidsintensieve** sector. Retailwinkels hebben lange openingsuren en zijn ook vaak open in het weekend (zaterdag en/of zondag). Om ervoor te zorgen dat er op ieder moment voldoende werknemers aanwezig zijn en dat werknemers niet te veel overuren presteren, moeten ze meestal gebruik maken van een **vrij complex shiftsysteem waarbij shifts elkaar overlappen** (Van Ostaeyen, P., 2016). Het gebruik van dergelijk shiftsysteem maakt het benodigde model om de personeelsplanning op te stellen complexer.

Verder zijn er nog een aantal andere factoren die het **opstellen van een personeelsplanning in de retailsector complexer** maken dan in andere sectoren. Zo werkt ongeveer 55% van het personeel in de retailsector **deeltijds** (Van Ostaeyen, P., 2016). Dit is veel meer dan in andere sectoren zoals de bouwnijverheid (ongeveer 5%) en de transportsector (ongeveer 12,5%) (Van Ostaeyen, P., 2016). Deeltijdse werknemers zorgen voor een verhoogde flexibiliteit om bepaalde “gaten” in de personeelsplanning op te vullen. Wanneer meer dan de helft van het personeel deeltijds werkt, zorgt dit er echter voor dat er bij het opstellen van de personeelsplanning veel gepuzzeld moet worden om iedereen het juiste aantal uren te laten werken (Van Ostaeyen, P., 2016). Bovendien zijn er vaak nog extra restricties door het type werknemer dat actief is binnen de retailsector en de rechten die ze verworven hebben. De retailsector is een **zeer vrouwelijke sector** (ongeveer 65% vrouwen) (Comeos, 2014). Aangezien het vaak de vrouw is die de kinderen van school gaat halen, de belangrijkste taken in het huishouden doet, ... zijn flexibele werkuren voor dit type werknemers belangrijk. Het is verstaanbaar dat een werknemer om 16u wil stoppen om de kinderen van school te halen, maar

als er veel dergelijke (zachte of harde) restricties zijn voor het personeelsplanningsprobleem wordt dit steeds complexer. Ook de **verworven rechten** van oudere werknemers, waarbij deze al jarenlang een zelfde weekschema krijgen en er geen of slechts beperkte mogelijkheid is om dit aan te passen, zorgen voor een verhoogde complexiteit (De Brouwer, B., 2015).

Retailers gebruiken meestal de verwachte inkomsten/omzet als basis om hun personeelsplanning op te stellen (Van Ostaeyen, P., 2016). Deze verwachte inkomsten worden voorspeld (op basis van historische cijfers, externe factoren zoals het weer, promoties, ...) en op basis van deze voorspellingen bepaald men dan de benodigde winkelbezetting. Deze verwachte inkomsten hangen bij een retailbedrijf natuurlijk hoofdzakelijk af van het aantal klanten dat over de vloer komt. **Het voorspellen van dit aantal klanten is zeer moeilijk** omdat het afhangt van zeer veel verschillende factoren. Bovendien moet men niet alleen weten hoeveel klanten er die dag zullen langskomen, maar ook wanneer. In de retailsector ziet men **over de middag en 's avonds vaak een piek in het aantal klanten** (De Brouwer, B., 2015). De winkelbezetting moet hier dan ook aan aangepast worden. Deze pieken kunnen opgevangen worden door extra werknemers in te schakelen en gebruik te maken van overlappende shifts. Het maken van accurate vraagvoorspellingen is zeer belangrijk voor elk type bedrijf. Zowel onderbezetting als overbezetting kosten immers veel geld aan het bedrijf (Van Ostaeyen, P., 2016). Bij een retailbedrijf is het voorspellen van de vraag echter moeilijker dan in de meeste andere sectoren omdat de vraag zeer volatiel is.

Bij een retailbedrijf is er meestal een **uitgebreide, diverse takenset** die uitgevoerd moet worden (Van Ostaeyen, P., 2016). Bovendien kan niet iedere taak door iedere werknemer volbracht worden. De volgorde waarin de taken uitgevoerd worden, de urgentie van het uitvoeren van de taak, ... hebben vaak een belangrijke impact bij retailbedrijven. De eigenschappen van de takenset kunnen ook snel veranderen, soms is het bijvoorbeeld nodig dat werknemers stoppen met het uitvoeren van een taak om een onverwachte, dringende taak voor te nemen. Bij het toewijzen van werknemers aan taken binnen een retailbedrijf is het daarom van belang dat men rekening houdt met de eigenschappen van de taken en van de werknemers. **De juiste werknemer op het juiste moment aan de juiste taak toewijzen**, is hierbij moeilijker dan in sectoren waar er minder diverse vaardigheden nodig zijn voor het uitvoeren van de taken en er minder onzekerheid is met betrekking tot de takenset (Van Ostaeyen, P., 2016).

Tot slot willen we wijzen op de **grote nood aan flexibiliteit bij retailbedrijven** (Van Ostaeyen, P., 2016). Bij een retailbedrijf kunnen er heel wat onverwachte gebeurtenissen optreden zoals transport dat te laat is, plotse onverwachte piek in het aantal klanten, veel minder klanten dan verwacht door het slechte weer, ... Daarom is het **belangrijk dat de personeelsplanning zeer flexibel is** en dat er gemakkelijk aanpassingen gedaan kunnen worden om te voldoen aan de noden van het moment. In de retailsector moet men bij het opstellen van de personeelsplanning zeker rekening houden met bepaalde onverwachte gebeurtenissen en bepalen hoe men zal reageren als deze gebeurtenissen zich effectief voordoen.

We kunnen concluderen dat er een aantal aspecten zijn die het opstellen van een personeelsplanning bij een retailbedrijf anders maken dan het opstellen van een personeelsplanning van een ander type bedrijf. **Het basisproces voor het opstellen van een personeelsplanning is echter steeds ongeveer hetzelfde en kan dus ook voor retailbedrijven toegepast worden.** Men moet bij het opstellen van het model enkel een aantal aanpassingen doen zodat rekening gehouden wordt met bovenvermelde factoren. Meer uitleg over de verschillende stappen bij het opstellen van een personeelsplanning volgt in sectie 3.3.

3.2.2.2 Overzicht beschikbare literatuur

Hier volgt een overzicht van de beschikbare literatuur omtrent personeelsplanningsproblemen in de retailsector. Bij iedere paper zal wat extra uitleg gegeven worden over het onderwerp en de gebruikte werkwijze.

- *A Web-based workforce management system for Sainsburys Supermarkets Ltd.* (Mirrazavi & Beringer, 2007)

In deze paper wordt een gecentraliseerd systeem voor de optimalisering van de personeelsplanning van de Britse supermarktketen Sainsbury's ontwikkeld. Het doel van dit systeem is om de vraag accuraat te voorspellen en op basis van deze informatie de juiste werknemers op het juiste moment op de juiste plaats in te plannen. Hierbij wordt rekening gehouden met de (sectorspecifieke) restricties en de objectieven van het bedrijf. Dit systeem werd geïmplementeerd voor alle vestigingen van Sainsbury's in het Verenigd Koninkrijk.

- ***Efficient shift scheduling in the retail sector through two-stage optimization*** (Kabak *et al.*, 2008)

In deze paper wordt een *two-stage* model gebruikt voor het opstellen van de personeelsplanning. In de eerste stap wordt een voorspellingsmodel voor de verkopen gebruikt om de benodigde werknemers per uur te bepalen. In de tweede stap wordt er een *mixed integer optimization model* opgesteld op basis van de output van de eerste stap. Dit model probeert een optimale toewijzing van werknemers aan dagelijkse shifts te vinden. Hiervoor worden simulaties gebruikt. Het two-stage model werd nadien uitgetest bij een Turkse retailer uit de kledingindustrie.

- ***Selecting and adapting weekly work schedules with working time accounts: a case of a retail clothing chain*** (Pastor & Olivella, 2008)

In deze paper wordt de toewijzing van werknemers aan wekelijkse werkschema's onder de loep genomen. In veel (retail)bedrijven gebeurt dit nog manueel. De paper stelt een *two-stage* model op om dit proces efficiënter te laten verlopen. In de eerste stap wordt een beroep gedaan op een *mixed linear program* (MLP) gevolgd door lokale optimalisatieprocessen om werknemers toe te wijzen aan een wekelijks werkschema. In de tweede stap worden de werkschema's aangepast op basis van op voorhand vastgelegde regels. Zo wordt bijvoorbeeld het aantal werkuren verminderd bij overcapaciteit en verhoogd bij ondercapaciteit. Deze studie werd uitgevoerd op basis van data van een retailer uit de kledingindustrie.

- ***Automatic generation of optimised working time models in personnel planning*** (Nissen & Gunther, 2010)

In deze paper wordt gewezen op het belang van flexibiliteit in de modellen die gebruikt worden voor personeelsplanning in de retailsector. De retailsector wordt immers gekenmerkt door een grote arbeidsintensiteit, veel concurrentie en een moeilijk voorspelbare, sterk fluctuerende vraag. Men gebruikt aangepaste versies van de *evolutiestrategie* en *partical swarm optimalisatie* om tot deze flexibele modellen te komen. De evolutiestrategie en partical swarm optimalisatie zijn metaheuristieken. Metaheuristieken worden gebruikt wanneer het probleem te complex is en er geen optimale oplossing gevonden kan worden. Ze gaan op zoek naar een zo goed mogelijke oplossing. Iedere metaheu-

ristiek bestaat uit een algoritme dat gebaseerd is op een bepaalde theorie. Er bestaan zeer veel verschillende soorten metaheuristieken. Meer uitleg over metaheuristieken is beschikbaar in bijlage C Oplossingsmethodes voor personeelsplanningsproblemen. De gevonden modellen worden vervolgens vergeleken met een commerciële constructieve methode.

- ***Application of a genetic algorithm to staff scheduling in retail sector*** (Zolfaghari *et al.*, 2010)

In deze paper wordt een genetisch algoritme (GA) ontwikkeld voor het personeelsplanningsprobleem in de retailsector. Een genetisch algoritme is ook een metaheuristiek. Het genetisch algoritme wordt vervolgens vergeleken met de vaak gebruikte *branch-and-bound* methode op basis van zes praktijkvoorbeelden. De vergelijkende studie toont aan dat het genetisch algoritme *near-optimal* (bijna optimale) oplossingen kon genereren voor de zes praktijkvoorbeelden. Voor drie van de zes praktijkvoorbeelden was het resultaat van het genetisch algoritme succesvoller dan het resultaat van de *branch-and-bound* methode.

- ***Retail store workforce scheduling by expected operating income maximization*** (Chapados *et al.*, 2011)

In deze paper wordt een model opgesteld waarbij de verwachte inkomsten uit de eigen operaties gemaximaliseerd worden. Hierna wordt de invloed van een aantal parameters op dit objectief onderzocht. De impact van extra werknemers wordt bijvoorbeeld getest. Een praktijkstudie bij een middelgrote retailer toonde aan dat een stijging van de opbrengsten met 7% en van de inkomsten uit de eigen operaties met 3% mogelijk is wanneer het model uit de paper toegepast wordt.

3.2.2.3 Vergelijkende studie van de literatuur

De zes papers, die in de vorige sector besproken werden, modelleren het personeelsplanningsprobleem op een verschillende manier. Ze gebruiken andere objectieven, houden rekening met andere restricties, passen andere oplossingsmethodes toe, ... In deze sectie worden de belangrijkste eigenschappen van deze papers met elkaar vergeleken. De structuur van deze sectie is hoofdzakelijk gebaseerd op het onderzoek van Van den Bergh *et al.* (2013).

Personeelskarakteristieken. Een eerste belangrijk verschil is het onderscheid tussen **full-time en part-time werknemers**. Niet alle papers houden rekening met part-time werknemers (zie tabel 3.2). Het onderscheid tussen full-time en part-time werknemers is nochtans van groot belang bij personeelsplanningsproblemen in de retailsector. De vraag is immers zeer moeilijk voorspelbaar en fluctueert bovendien gedurende de dag. Part-time werknemers zorgen voor een grotere flexibiliteit om hiermee om te gaan (Agrali *et al.*, 2016). Een andere manier om met de onvoorspelbare vraag om te gaan, is het inschakelen van tijdelijke werknemers (Van den Bergh *et al.*, 2013). Er is echter geen enkele van de zes bestudeerde papers die gebruik maakt van tijdelijke werknemers. Nochtans worden tijdelijke werknemers in de praktijk wel degelijk gebruikt in de retailsector. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de vele studenten die jaarlijks gedurende enkele weken in een supermarkt vakantiewerk verrichten. Voor andere sectoren zoals de transportsector (luchtvaart, treinen, metro's, ...) en de servicesector (ziekenhuizen, callcenters, ...) zijn er wel verschillende papers beschikbaar waarbij tijdelijke werknemers gebruikt worden (Van den Bergh *et al.*, 2013). De lezer die extra informatie wenst in verband met personeelsplanning waarbij tijdelijke werknemers ingeschakeld worden, kan deze werken raadplegen.

Sommige taken kunnen niet door alle werknemers uitgevoerd worden, ze vergen een bepaald **vaardigheidsniveau**. Het vaardigheidsniveau van een werknemer kan enerzijds gezien worden als een variabele die bepaalt of een werknemer een taak al dan niet kan uitvoeren (binair). Anderzijds kan het vaardigheidsniveau van een werknemer ook gezien worden als een variabele die bepaalt hoe snel een taak uitgevoerd zal worden. Hoe hoger het vaardigheidsniveau (vb. door jarenlange ervaring met het uitvoeren van de taak), hoe sneller de taak vervuld zal zijn (Van den Bergh *et al.*, 2013). Niet alle papers houden rekening met het vaardigheidsniveau van de werknemers (zie tabel 3.2). Wanneer alle taken door alle werknemers even snel uitgevoerd kunnen worden, hebben alle werknemers hetzelfde vaardigheidsniveau en moet deze parameter niet opgenomen worden in het model.

Type beslissingen: op taak- en/of shiftniveau. In sommige modellen wordt de werknemer reeds toegewezen aan een specifieke taak. Werknemer 1 kan dan bijvoorbeeld toegewezen worden aan taak 1. Andere modellen stellen enkel de toewijzing van werknemers aan bepaalde shifts voorop. Werknemer 1 wordt dan bijvoorbeeld toegewezen aan de vroege shift op

maandag, is vrij op dinsdag, werkt de late shift op woensdag, ... Uit tabel 3.2 blijkt dat enkel Mirrazavi & Beringer (2007) een toewijzing op taakniveau doorvoeren. Zoals reeds vermeld werd, zal de toewijzing van werknemers aan taken in deze masterproef uitvoerig behandeld worden in hoofdstukken 4 en 7.

Nr.	Referentie	Personeel			Type beslissingen	
		Full-time	Part-time	Vaardigheidsniveau	Taken toewijzen	Shiftvolgorde
1	Beringer & Mirrazavi (2007)	X	X	X	X	X
2	Kabak et al. (2008)	X	X			X
3	Pastor & Olivella (2008)	X				X
4	Nissen & Gunther (2010)	X	X			X
5	Zolfaghari et al. (2010)	X	X	X		X
6	Chapados et al. (2011)	X				X

Tabel 3.2: Personeelskarakteristieken en type beslissingen

Flexibiliteit van de shifts. Het toelaten van **overlappende shifts** is vooral sectorgebonden. In ziekenhuizen en industriële bedrijven wordt vaak gewerkt met verschillende ploegen die een bepaalde shift doen en elkaar aflossen. Hierbij overlappen de shifts niet (vb. vroege dienst is van 7u tot 14u, late dienst is van 14u tot 21u en nachtdienst is van 21u tot 7u). In sectoren die sterk afhankelijk zijn van de vraag, zoals call centres en retailbedrijven, wordt vaker met overlappende shifts gewerkt (Van den Bergh *et al.*, 2013). Zo kan men bijvoorbeeld piekmomenten opvangen door twee shifts te laten overlappen. Uit tabel 3.3 blijkt dat alle onderzochte papers overlappende shifts toelaten.

Sommige ondernemingen werken met een beperkt aantal shifts, waarbij de **starttijd van de shifts** duidelijk vastgelegd is en er weinig/geen variatie is over meerdere dagen, weken, ... Andere ondernemingen werken met zeer veel verschillende shifts. Deze shifts kunnen verschillen qua starttijd, elkaar overlappen, ... Bovendien zijn er zeer veel verschillende combinaties van shifts over meerdere dagen, weken, ... mogelijk. Ook qua **lengte van de shifts** zijn er verschillen tussen de ondernemingen. Bij sommigen zijn alle shifts even lang, bij anderen is er heel wat variatie in de lengte van de shifts. Tabel 3.3 toont dat enkel Pastor & Olivella (2008) vaste starttijden en vaste lengtes van de shifts opleggen.

		Flexibiliteit mbt shifts				
		Overlappende shifts	Starttijden shifts		Lengte shifts	
Nr.	Referentie	Toegelaten	Vast	Flexibel	Vast	Flexibel
1	Beringer & Mirrazavi (2007)	X		X		X
2	Kabak et al. (2008)	X		X		X
3	Pastor & Olivella (2008)	X	X		X	
4	Nissen & Gunther (2010)	X		X		X
5	Zolfaghari et al. (2010)	X		X		X
6	Chapados et al. (2011)	X		X		X

Tabel 3.3: Flexibiliteit van de shifts

Restricties. De restrictie die oplegt dat er **voldoende personeel** moet zijn om aan de (verwachte) vraag te voldoen (coverage constraint), is één van de belangrijkste restricties bij personeelsplanningsproblemen. Deze restrictie kan als een harde of zachte restrictie opgenomen worden (zie ook sectie 3.3.1.4 Restricties). Wanneer deze restrictie als harde restrictie wordt opgenomen, mag ze niet geschonden worden. Wanneer ze als zachte restrictie wordt opgenomen, kan ze wel geschonden worden, maar worden er strafpunten toegekend indien dit gebeurt. Sommige papers gebruiken ook een combinatie van de twee. Hierbij zorgt de harde restrictie bijvoorbeeld voor voldoende personeel, terwijl de zachte restrictie ervoor zorgt dat het aantal werknemers geminimaliseerd wordt.

Wanneer de coverage constraint opgenomen wordt als harde restrictie is understaffing niet toegelaten. In alle andere gevallen dient er een keuze gemaakt te worden met betrekking tot het **toelaten van understaffing/overstaffing**. Toelaten van understaffing/overstaffing verhoogt de flexibiliteit van het planningsproces.

In sommige modellen worden de **pauzes** opgenomen bij het opstellen van het model, in andere niet. Er moet een afweging gemaakt worden tussen de voor- en nadelen van het op voorhand inplannen van pauzes. Het grote voordeel van het opnemen van pauzes in het model is de duidelijkheid over wanneer elke werknemer pauze heeft. Het opnemen van pauzes in het model verhoogt echter de complexiteit van het probleem, waardoor het oplossen ervan moeilijker is en meer (computer)tijd vergt. Andere nadelen zijn: een gebrek aan flexibiliteit op het moment zelf en minder productieve werkkrachten wanneer een toegekende pauze afgenomen wordt omdat het bijvoorbeeld te druk is. Het grote voordeel van het beslissen over pauzes op het moment zelf is de grote flexibiliteit. Een mogelijk nadeel is een gebrek aan efficiëntie. Wanneer

de manager op het moment zelf beslist wie wanneer pauze mag nemen, zal dit doorgaans minder efficiënt gebeuren dan wanneer dit gebeurt door middel van een softwareprogramma. Tabel 3.4 toont de kenmerken van de zes onderzochte papers met betrekking tot de coverage constraints en het opnemen van pauzes.

Nr.	Referentie	Coverage constraints		Flexibiliteit mbt coverage constraints				Pauzes
		Hard	Zacht	Understaffing		Overstaffing		
				Toegelaten	Verboden	Toegelaten	Verboden	
1	Beringer & Mirrazavi (2007)		X		X	X		X
2	Kabak et al. (2008)	X			X	X		X
3	Pastor & Olivella (2008)	X	X		X		X	
4	Nissen & Gunther (2010)		X		X		X	
5	Zolfaghari et al. (2010)		X	X		X		
6	Chapados et al. (2011)		X	X		X		X

Tabel 3.4: Coverage constraint en pauzes

Personeelsplanningsmodellen kunnen heel wat **tijdsgerelateerde restricties** bevatten. Enkele voorbeelden zijn: maximum aantal werkuren per week, maximum aantal opeenvolgende werkdagen, minimale tijdsperiode tussen twee shifts, . . . De tijdsgerelateerde restricties hangen vooral af van de concrete case die onderzocht wordt. Wegens de grote verscheidenheid aan tijdsgerelateerde restricties die opgenomen werden in de verschillende papers, hebben we hierover geen data opgenomen. De lezer die hierover informatie wenst, wordt doorverwezen naar *Personnel scheduling: A literature review* (Van den Bergh *et al.*, 2013).

Kosten. Minimalisatie van de **personeelskost** wordt vaak gezien als het hoofdobjectief van het personeelsplanningsprobleem. Dit is nauw verbonden met het objectief om het aantal werknemers te minimaliseren, maar biedt meer mogelijkheden. Bij het gebruik van de personeelskost kan de trade-off tussen het aannemen van nieuwe werknemers, het gebruik van overuren, het gebruik van tijdelijke werknemers, . . . opgenomen worden door aan elk van deze maatregelen een kost toe te kennen. Bij het minimaliseren van het aantal werknemers wordt hier geen rekening mee gehouden. Sommige kosten hangen af van de **dag van de week** waarop ze gemaakt worden. Werknemers krijgen bijvoorbeeld een hoger salaris wanneer ze in het weekend werken. Andere kosten worden dan weer bepaald door het **vaardigheidsniveau** van de werknemer. Werknemers met een zeer hoog vaardigheidsniveau krijgen bijvoorbeeld een hoger loon dan werknemers met een lager vaardigheidsniveau. De verloning op basis van anciënniteit, die vaak toegepast wordt in België, steunt op dit principe. Tabel 3.5 toont dat

vier van de zes papers rekening hielden met de personeelskost in hun model. De invloed van de dag van de week en het vaardigheidsniveau wordt minder vaak opgenomen in het model. Andere kosten die bij personeelsplanningsproblemen vaak gebruikt worden, zijn: kost van overuren, de kost om bepaalde taken uit te voeren, de kost voor het outsourcen van bepaalde taken, de kost van tijdelijke werknemers, ... (Van den Bergh *et al.*, 2013) Geen enkele van de onderzochte papers houdt echter rekening met dergelijke kosten. Naast het minimaliseren van de kosten zijn er natuurlijk nog andere mogelijke objectieven bij het opstellen van de personeelsplanning (zie sectie 3.3.1.3 Objectieven).

Nr.	Referentie	Kosten		
		Personeelskost	Dag van de week	Vaardigheidsniveau
1	Beringer & Mirrazavi (2007)	X	X	X
2	Kabak et al. (2008)	X		
3	Pastor & Olivella (2008)			
4	Nissen & Gunther (2010)			
5	Zolfaghari et al. (2010)	X		X
6	Chapados et al. (2011)	X		

Tabel 3.5: Kosten

Fairness en voorkeuren van werknemers. Bij het opstellen van een personeelsplanning tracht men vaak om tot een **faire** planning te komen. Hiermee bedoelt men dat alle werknemers een gelijkaardig werkschema hebben. Concreet doet men dit meestal door te werken met zachte restricties en strafpunten toe te kennen aan onpopulaire shifts. Hierna probeert men ervoor te zorgen dat de strafpunten van de roosters van alle werknemers ongeveer gelijk zijn (*levellen*) en onder een bepaalde waarde blijven. Steeds meer werkgevers zijn ook bereid om rekening te houden met specifieke **voorkeuren** van het personeel. Werknemers kunnen een voorkeur hebben voor bepaalde shifts, werkdagen, werklocaties, ... Door het opnemen van deze voorkeuren als zachte restricties in het model, worden deze voorkeuren zoveel mogelijk ingewilligd. Hoewel men steeds vaker rekening houdt met fairness en de voorkeuren van werknemers, is er geen enkele van de onderzochte papers die dit reeds doet. Dit is dus een belangrijke opportuniteit voor verder onderzoek.

Opname onzekerheid in het model. Er zijn twee manieren om met onzekerheid om te gaan: **deterministisch en stochastisch**. Bij de deterministische handelswijze wordt de onzekerheid niet rechtstreeks opgenomen in het model. De onzekerheid wordt (gedeeltelijk)

genegeerd. Een vaak toegepaste deterministische methode om met onzekerheid om te gaan is het toevoegen van een buffer aan de voorspelde werknemersbehoefte. Deze buffer dient dan om de verschillende vormen van onzekerheid op te vangen. Stochastische methodes proberen om de onzekerheid op te nemen in het model. Twee types van onzekerheid die vaak opgenomen worden in stochastische modellen zijn: **onzekerheid van de vraag en onzekerheid van aankomsten**. Onzekerheid van de vraag wijst op de onzekerheid met betrekking tot de *workload* (de hoeveelheid werk die verricht zal moeten worden). Onzekerheid van de aankomsten wijst op de onvoorspelbaarheid van het aankomstpatroon van het werk. Tabel 3.6 toont aan dat de meeste papers een deterministische werkwijze hebben toegepast.

Toepasbaarheid van het onderzoek. Uit tabel 3.6 blijkt dat alle zes de modellen uit de papers getest werden met echte data, maar dat slechts één model (het model van Mirrazavi & Beringer (2007)) geïmplementeerd werd in de praktijk. De beperkte implementatie van modellen in de praktijk, ook wel *research-application gap* genoemd, is een algemeen fenomeen en geldt dus niet alleen voor de retailsector. In hoofdstuk 5 Research-application gap wordt dit probleem uitgebreid behandeld. In deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 8 wordt er empirisch onderzoek gedaan naar de research-application gap bij retailbedrijven.

		Opname onzekerheid			Toepasbaarheid van het onderzoek	
		Deterministisch	Stochastisch		Getest met echte data	Toegepast in de praktijk
Nr.	Referentie		Vraag	Aankomsten		
1	Beringer & Mirrazavi (2007)	X			X	X
2	Kabak et al. (2008)		X		X	
3	Pastor & Olivella (2008)	X			X	
4	Nissen & Gunther (2010)	X			X	
5	Zolfaghari et al. (2010)	X			X	
6	Chapados et al. (2011)		X	X	X	

Tabel 3.6: Opname onzekerheid in het model en toepasbaarheid van het onderzoek

Oplossingsmethode. Personeelsplanningsproblemen kunnen opgelost worden met behulp van **optimalisatie en/of simulatie**. Deze oplossingsmethodes worden nog verder opgesplitst in **exacte oplossingen en heuristieken**.

Uit tabel 3.7 blijkt dat in de zes papers telkens een andere oplossingsmethode gebruikt werd. Dit is niet verwonderlijk aangezien er zeer veel verschillende oplossingsmethodes beschikbaar

zijn en de toepasbaarheid & kwaliteit van de oplossingsmethodes afhangt van het specifieke probleem. Er bestaat dus geen oplossingsmethode die altijd toepasbaar is en/of altijd de beste oplossing oplevert.

Mathematical programming behoort tot de exacte optimalisatiemethodes. Hierbij wordt het personeelsplanningsprobleem geformuleerd als een *linear, integer of mixed-integer program* en vervolgens opgelost met behulp van optimalisatiesoftware. De verschuiving van relatief éénvoudige naar complexe, *multi-objective* en *over-constrained* problemen heeft ervoor gezorgd dat men steeds meer is overgeschakeld op het gebruik van heuristieken. Heuristieken genereren niet de beste oplossing, maar wel een zeer goede oplossing. Bij simulatie gaat men op zoek naar een oplossing door rekening te houden met zeer veel mogelijke scenario's. Constraint programming is een techniek waarbij problemen omschreven worden aan de hand van constraints (restricties). Er wordt onder andere gebruik gemaakt van regels waardoor restricties voorgesteld kunnen worden door éénvoudigere restricties. Meer informatie over de verschillende oplossingsmethodes is beschikbaar in bijlage C Oplossingsmethodes voor personeelsplanningsproblemen.

	Oplossingsmethode					
	Mathematical Programming		Heuristieken		Simulatie	Constraint Progr.
Nr.	Integer Progr.	Mixed Integer Progr.	Constructieve heuristiek	Verbeterings-heuristiek		
1			X			
2					X	
3		X				
4				X		
5	X					
6						X

Tabel 3.7: Gebruikte oplossingsmethodes

Subsector binnen de retail. Tot slot geeft tabel 3.8 nog een overzicht van de subsector binnen de retail waar de praktijkstudie van de verschillende bestudeerde papers werd uitgevoerd. Dit gebeurde vooral in supermarkten en in de kledingindustrie. Enkel Zolfaghari *et al.* (2010) voerden hun praktijkstudie in meerdere subsectoren tegelijk uit. De praktijkstudie van deze masterproef met betrekking tot het toewijzen van werknemers aan taken (zie deel 2 Praktijkstudie, hoofdstukken 6 en 7) vond plaats bij Delhaize Watersportbaan. Dit onderzoek wordt dus tot het onderzoek binnen de supermarktbranche gerekend. Aan ons empirisch onderzoek naar het bestaan van een research-application gap bij retailbedrijven (zie deel 2

Praktijkstudie, hoofdstuk 8) namen retailbedrijven uit heel wat verschillende subsectoren van de retailsector deel. Dit onderzoek kan dus tot de categorie “Meerdere subsectoren” gerekend worden.

Nr.	Referentie	Subsector binnen de retail		
		Supermarkt	Kledij	Meerdere subsectoren
1	Beringer & Mirrazavi (2007)	X		
2	Kabak et al. (2008)		X	
3	Pastor & Olivella (2008)		X	
4	Nissen & Gunther (2010)	X		
5	Zolfaghari et al. (2010)			X
6	Chapados et al. (2011)		X	
7	Eigen onderzoek	X		X

Tabel 3.8: Subsector binnen de retail waar praktijkstudie plaatsvond

3.3 De verschillende onderdelen van het planningsproces

De traditionele manier om personeelsplanningsproblemen aan te pakken bestaat uit vier stappen (Thompson, 1998a,b, 1999a,b): (1) Voorspel de vraag; (2) Bepaal behoefte aan werknemers op basis van de voorspelde vraag; (3) Plan de shifts zodat aan de werknemersbehoefte voldaan wordt; (4) Realtime controle. Voor meer uitleg over stappen 1 & 2 verwijzen we u door naar bijlage B. Hier gaan we ervan uit dat stappen 1 en 2 reeds uitgevoerd werden en focussen we op de 3de en 4de stap (secties 3.3.1 en 3.3.2), aangezien deze het belangrijkste zijn met het oog op de volgende hoofdstukken (hoofdstuk 4 Toewijzing van taken aan werknemers en hoofdstuk 5 Research-application gap). Het is echter wel belangrijk om op te merken dat stappen 1 & 2 noodzakelijk zijn als input voor stap 3. Wanneer deze input te veel afwijkt van de realiteit, zal de output van stap 3 waardeloos zijn (*garbage in, garbage out*). In stap 4 wordt het plan dat in stap 3 gegenereerd werd, uitgevoerd en worden aanpassingen gedaan waar nodig. De realiteit komt immers nooit overeen met de verwachtingen (vb. onverwachte afwezigheid van personeel, onverwachte piek in de vraag, ...).

3.3.1 Stap 3: Planningsfase

In stap 3 wordt de personeelsplanning opgesteld. Deze taak wordt meestal uitgevoerd door het management. Op basis van de werknemersbehoefte per tijdsinterval moeten nu werknemers toegewezen worden aan bepaalde shifts zodat op ieder moment aan de (verwachte) vraag

voldaan wordt. Dit planningsproces is vrij complex omdat er met heel wat verschillende factoren rekening moet gehouden worden. Deze complexiteit zorgt ervoor dat managers vaak een beroep doen op softwareprogramma's bij het opstellen van de personeelsplanning. Deze sectie is hoofdzakelijk gebaseerd op volgende werken: Near-optimal staff scheduling using a mixed integer model (Sigurdadóttir, 2011), Labor Scheduling, Part 3: Developing a Workforce Schedule (Thompson, 1999a), Personnel scheduling: A literature review (Van den Bergh *et al.*, 2013) en Learning and Exploiting Knowledge in Multi-agent Task Allocation Problems (Campbell & Wu, 2007).

Eén van de factoren waar men rekening moet houden is het **personeel**. Beschikbaarheid, competenties, preferenties en kost van het personeel zijn een aantal elementaire kenmerken van iedere werknemer die van belang zijn bij het opstellen van de personeelsplanning. Managers staan bovendien onder druk om de kosten zo laag mogelijk te houden. Aangezien de personeelskost meestal het grootste deel van de controleerbare kosten omvat, zal het minimaliseren van de kosten vaak één van de **objectieven** zijn tijdens het planningsproces. Een ander belangrijk objectief is de tevredenheid van de klant. Bedrijven willen meestal een bepaald service level garanderen om hun klanten tevreden te houden. Het behalen van dit service level wordt dan ook vaak opgenomen als één van de objectieven. Bij het opstellen van de personeelsplanning moet men natuurlijk een overzicht hebben van de uit te voeren **taken** en hun karakteristieken. Soms zijn er bijvoorbeeld bepaalde volgorde-relaties tussen taken noodzakelijk (vb. taak 4 kan pas uitgevoerd worden als taak 1 en 2 afgewerkt zijn). Tot slot zijn er bij ieder personeelsplanningsprobleem ook heel wat **restricties** waar men rekening mee moet houden. De vier hoofdkenmerken van een personeelsplanningsprobleem (personeel, taken, objectieven en restricties) zullen in de volgende secties (sectie 3.3.1.1 - sectie 3.3.1.4) uitgebreid besproken worden. Na de bespreking van de vier hoofdkenmerken van een personeelsplanningsprobleem wordt een mathematisch model opgesteld voor een fictief voorbeeld (sectie 3.3.1.5). De bedoeling is om te illustreren hoe de verzamelde data omgezet kunnen worden in een model dat dan geoptimaliseerd kan worden.

3.3.1.1 Personeel

De karakteristieken van het personeel spelen een belangrijke rol in het personeelsplanningsproces. Ze bepalen, samen met de restricties, de flexibiliteit die de planner heeft om personeelsleden aan shifts toe te wijzen. Hieronder zullen we de belangrijkste personeelskenmerken bespreken.

Beschikbaarheid Personeelsbeschikbaarheid wordt bepaald door het aantal werknemers dat een bedrijf in dienst heeft. Men moet echter ook rekening houden met het feit dat niet alle personeelsleden op hetzelfde moment beschikbaar zijn. Afhankelijk van zijn contract is de werknemer een aantal uren per maand, week, dag, . . . beschikbaar. Hier is er een duidelijk verschil tussen full-time en part-time werknemers. Ook tussen werknemers die eenzelfde aantal uren per week doen, kunnen er grote verschillen zijn. Ze kunnen bijvoorbeeld andere vrije dagen hebben.

Wanneer men alle contracten van de werknemers naast elkaar legt, kan men het beschikbaar aantal werknemers op ieder moment bepalen. Op basis hiervan kan men reeds min of meer zien of er genoeg werknemers beschikbaar zijn om aan de werknemersbehoefte (die bepaald werd in stap 2) te voldoen. Het is echter ook belangrijk dat men rekening houdt met (onverwachte) afwezigheden. Iedere werknemer heeft recht op verlofdagen, is wel eens ziek, staat soms vast in de file, . . . Hierdoor kan het werkelijk aantal beschikbare werknemers lager zijn dan men zou verwachten op basis van de contracten. Dit is één van de redenen waarom men bij het toewijzen van werknemers aan een shift meestal een extra buffer van werknemers toevoegt. Men wil immers zeker zijn dat de werknemersbehoefte voldaan zal kunnen worden. Om het wiskundig uit te drukken: Ingeplande werknemers - afwezige ingeplande werknemers \geq benodigde werknemers. Het is dus van groot belang voor het opstellen van de personeelsplanning dat de beschikbaarheid van iedere werknemer zorgvuldig bijgehouden wordt. Zo kan men controleren of er op ieder moment voldoende werknemers beschikbaar zijn om aan de vraag te voldoen. Er kan bovendien ook vermeden worden dat een werknemer toegewezen wordt aan een shift op een moment dat hij niet beschikbaar is.

Full-time vs Part-time werknemers Eén van de belangrijkste personeelskarakteristieken is het onderscheid tussen full-time en part-time werknemers. Volgens de cijfers van Eurostat (2015) bedroeg het procentueel aantal werknemers dat gedurende 2014 part-time werkte 19,6% binnen de Europese Unie. Opvallend is dat in Nederland bijna de helft (49,6%) van de werknemers part-time werken. Dit wordt hoofdzakelijk verklaard doordat part-time werknemers dezelfde voordelen krijgen als full-time werknemers, wat niet het geval is in de meeste andere EU-lidstaten (Jobat, 2015). In België werkt ongeveer **één op vier werknemers part-time**. Er is bovendien een **belangrijk geslachtsverschil** merkbaar. Vrouwen werken vaker part-time dan mannen. In België werkt 40% van de werkende vrouwen part-time, bij de mannen is dit slechts 10%. Deze verschillen worden vooral veroorzaakt door de verschillende rol van man en vrouw binnen het gezin.

Het onderscheid tussen full-time en part-time werknemers is belangrijk bij het opstellen van een personeelsplanning. Ten eerste is er natuurlijk het verschil in het aantal uren dat de werknemer werkt. Full-time werknemers werken meer uren per week dan part-time werknemers. Ten tweede hebben part-time werknemers meestal een ander soort contract dan full-time werknemers, hierdoor zijn er andere restricties van toepassing. Part-time werknemers zullen bijvoorbeeld slechts één avond per week lang moeten werken, terwijl dit voor full-time werknemers twee avonden per week zijn. Een belangrijk voordeel van part-time werknemers is de **verhoogde flexibiliteit** om aan de vraag te voldoen.

In de literatuur rond personeelsplanningsproblemen houden de meeste papers enkel rekening met full-time werknemers (Van den Bergh *et al.*, 2013) tijdens de planningsfase. Wanneer er in de realiteit toch part-time werknemers zijn, bekomt men het rooster voor deze werknemers bijvoorbeeld door één of meerdere full-time roosters op te splitsen en toe te wijzen aan part-time werknemers. Er is echter ook een substantieel aantal papers dat wel rekening houdt met full-time én part-time werknemers tijdens de planningsfase (Van den Bergh *et al.*, 2013).

Vaste vs tijdelijke werknemers De meeste bedrijven werken voornamelijk met vaste werknemers, maar er wordt ook vaak beroep gedaan op tijdelijke werknemers. Onderzoek van securex (2015) toonde aan dat het aantal werknemers dat tewerkgesteld werd via een tijdelijk contract in België in 2014 ongeveer 11-12% bedroeg (12,40% bij vrouwen, 11% bij mannen). Tijdelijke werknemers worden vooral aangenomen om **pieken in de vraag op te vangen**.

Een typische sector waarin dit gebeurt, is de fruitteelt. Het fruit moet immers op enkele dagen/weken tijd geoogst worden en men heeft heel wat werknemers nodig om dit te doen. Wanneer de oogstperiode gepasseerd is, is er echter geen werk meer voor deze werknemers. Daarom worden ze slechts tijdelijk in dienst genomen. Ook wanneer er **niet voldoende werk** is voor een vaste werknemer, wordt vaak beroep gedaan op een tijdelijke werknemer. Vooral kmo's doen een beroep op tijdelijke werknemers. Zo doet meer dan drie kwart van de Belgische kmo's (76%) een beroep op tijdelijke finance- en accountantprofessionals (kmo-insider, 2015).

In België zorgde de **invoering van het eenheidsstatuut**³ op 1 januari 2014 voor een verhoging van het gebruik van tijdelijke werknemers (Trends, 2015). Het eenheidsstatuut zorgde er immers voor dat de proefperiode werd afgeschaft. Hierdoor zijn er veel bedrijven die nieuwe werknemers nu eerst een tijdelijk contract aanbieden en dit contract dan omzetten naar een vast contract wanneer de werknemer voldoet aan de vereisten. De aandachtige lezer heeft ongetwijfeld opgemerkt dat deze werkwijze sterk op de proefperiode lijkt. Dit wijst erop dat de bedrijven op een creatieve manier zijn omgegaan met de afschaffing van de proefperiode. De grootste invloed van tijdelijke werknemers op de personeelsplanning is de **verhoogde flexibiliteit** om de planning op te stellen.

Competenties In de meeste bedrijven kan een bepaalde werknemer niet alle taken binnen het bedrijf uitvoeren. Voor sommige taken heeft hij niet de benodigde competenties. Daarom is het belangrijk dat men van alle werknemers bijhoudt welke taken ze kunnen uitvoeren en welke niet (**geschiktheid van de werknemer**). De werknemers die een taak kunnen uitvoeren, kan men bovendien nog verder opdelen op basis van hun **vaardigheidsniveau**. Sommige werknemers kunnen een bepaalde taak beter, sneller, ... uitvoeren dan andere werknemers en hebben dus een hoger vaardigheidsniveau.

Bedrijven die geen rekening houden met de competenties van hun personeel zullen een stijging van de kosten ondervinden. Werknemers die taken moeten uitvoeren waarvoor ze geen of slechts beperkte competenties hebben, zullen deze minder efficiënt uitvoeren. Dit resulteert in een lagere productiviteitsgraad dan wanneer men wel rekening houdt met competenties bij het toewijzen van taken aan personeelsleden. De meeste bedrijven wijzen wel degelijk enkel

³Het eenheidsstatuut werd ingevoerd om de discriminatie tussen arbeiders en bedienden op te heffen. Voor meer informatie zie: *Eenheidsstatuut: wat betekent dit voor uw onderneming?* (sdworx, 2015)

geschikte werknemers toe aan een bepaalde taak. Slechts weinig bedrijven houden rekening met het vaardigheidsniveau van de werknemers. Een vaak gehoorde reden hiervoor is dat men het vaardigheidsniveau van de werknemers moeilijk kan kwantificeren.

Planning op niveau van het individu of in groep In de meeste personeelsplanningsproblemen moet een apart rooster opgesteld worden voor ieder individu. Bij sommige problemen moeten werknemers echter eerst ingedeeld worden in een groep die dan bepaalde taken uitvoert. Alle werknemers van een bepaalde groep krijgen dan hetzelfde rooster toegewezen. Dit soort problemen komen vaak voor in de transportsector. Hierbij is het aantal voertuigen beperkt en moet er aan ieder voertuig een team van werknemers toegewezen worden. Een voorbeeld hiervan is *airline crew scheduling*, waarbij er aan ieder vliegtuig een team van werknemers (piloot, co-piloot, hostesses, veiligheidspersoneel, ...) toegekend moet worden. Bij *airline crew scheduling* moet bovendien rekening gehouden worden met de locatie van de vliegtuigen en het personeel. Aangezien locatie slechts in een beperkt aantal personeelsplanningsproblemen een rol speelt en van beperkt belang is bij personeelsplanningsproblemen in de retailsector, wordt de invloed van locatie op personeelsplanningsproblemen hier niet besproken. Lezers die meer informatie wensen over de invloed van locatie op personeelsplanningsproblemen worden doorverwezen naar de relevante literatuur. *Mixed-integer programming models for an employee scheduling problem with multiple shifts and work locations* (Al-Yakoob & Sherali, 2007) is één van de bronnen die hiervoor geraadpleegd kunnen worden.

3.3.1.2 Taken

Bij het opstellen van een personeelsplanning is het zeer belangrijk dat men een beschikt over een lijst van alle uit te voeren taken. Voor iedere taak uit de lijst moeten ook bepaalde eigenschappen opgenomen worden. Hierna zullen we een overzicht geven van een aantal taakgerelateerde eigenschappen. Afhankelijk van het specifieke probleem is het aangewezen om deze eigenschappen wel of niet op te nemen in het model.

Duurtijd van de taak Iedere taak heeft een bepaalde (verwachte) duurtijd. Bij het opstellen van een personeelsplanning (in de tactische fase) gebruikt men meestal de **gemiddelde verwachte duurtijd van de taak**. Dit is een statische waarde. In de realiteit zal de tijd die men nodig heeft om een bepaalde taak uit te voeren echter niet altijd overeenstemmen met

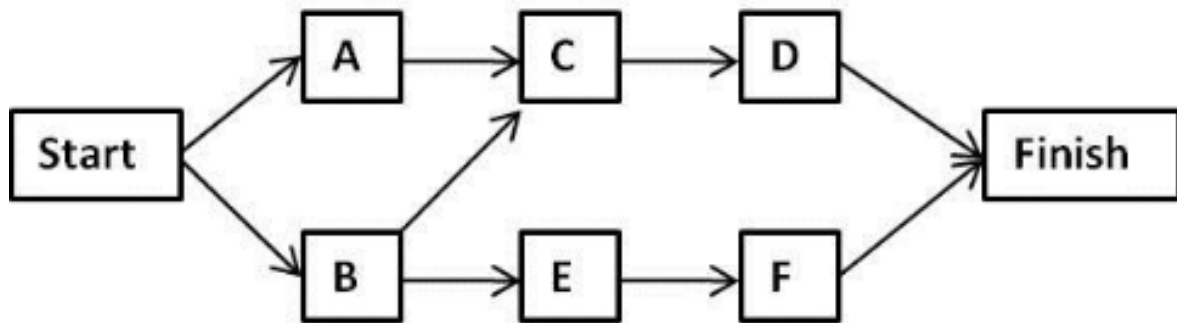
de vooraf verwachte duurtijd. Om rekening te houden met de variabiliteit in de duurtijden van de taken voegt men daarom vaak een **extra buffer** toe, men voorziet extra tijd, extra werknemers, ... om de taken uit te voeren. De effecten van de variabiliteit in de duurtijd van een taak (in de operationele fase) kunnen getest worden via simulatie op basis van kansverdelingen. Op basis van dergelijke testen kan bijvoorbeeld beslist worden om een grotere buffer te gebruiken.

Vereiste competenties Niet alle taken kunnen door alle personeelsleden uitgevoerd worden. Voor sommige taken zijn bepaalde competenties vereist. Een werknemer die niet over de juiste competenties beschikt voor een bepaalde taak, zal de taak ofwel niet kunnen uitvoeren ofwel zal het veel langer duren. Daarom is het belangrijk dat de benodigde competenties voor iedere taak nauwkeurig bijgehouden worden zodat enkel competente werknemers aan taken worden toegewezen.

Volgorde van de taken Sommige taken kunnen pas uitgevoerd worden als andere taken reeds afgewerkt zijn. Daarom moet men van iedere taak weten wat zijn **voorgangers** (taken die afgewerkt moeten zijn vooraleer de taak in kwestie aangevat kan worden) zijn. Dit kan geïllustreerd worden aan de hand van volgend voorbeeld: bij het bouwen van een huis kunnen de keuken, badkamer, ... pas geïnstalleerd worden wanneer de ruwbouw volledig afgewerkt is. Men zal nooit eerst een keuken installeren en er dan een huis rond bouwen.

Om het overzicht te bewaren (zeker wanneer er zeer veel taken uitgevoerd moeten worden), is het handig om de volgorde-relaties visueel voor te stellen. Dit kan bijvoorbeeld door het gebruik van een **activity-on-node (AON) netwerk**. Figuur 3.1⁴ toont een éénvoudig voorbeeld van zo'n netwerk. Uit deze figuur blijkt bijvoorbeeld dat taak C pas uitgevoerd kan worden, wanneer taak A en B afgewerkt zijn. Meer informatie omtrent het visualiseren van volgorde-relaties is onder andere beschikbaar in het boek *Project Management with Dynamic Scheduling* (Vanhoucke, 2013).

⁴Deze figuur werd overgenomen uit *Precedence Diagramming Method (Activity on Node Method) in Scheduling* (Usmani, F., 2012).



Figuur 3.1: Voorbeeld volgorderelaties tussen taken

Opsplitsbare en niet-opsplitsbare taken Opsplitsbare taken zijn taken die onderbroken kunnen worden en dan later worden afgewerkt. Dit kan bijvoorbeeld nodig zijn wanneer er plots een nieuwe taak bij komt die zo snel mogelijk uitgevoerd moet worden. Stel dat een werknemer bezig is met het vullen van winkelrekken en op een bepaald ogenblik komt er een klant naar hem met een vraag. Deze werknemer zal zijn taak (het vullen van de winkelrekken) even stopzetten om de klant te helpen. Nadat de klant geholpen is, werkt de werknemer zijn taak af. Niet-opsplitsbare taken zijn taken die volledig afgewerkt moeten zijn vooraleer ze stopgezet kunnen worden. Een voorbeeld hiervan is het gieten van een betonnen vloer. Men kan dit proces niet halverwege stopzetten omdat het beton dan hard zal worden en het beton mag pas hard worden wanneer de volledige vloer gegoten is. Het onderscheid tussen opsplitsbare en niet-opsplitsbare taken is belangrijk bij het toewijzen van taken aan werknemers. Bij planningsproblemen die bestaan uit **opsplitsbare taken** is er een **grotere flexibiliteit voor het toewijzen van de taken**. Er kunnen andere toewijzingsprocedures gebruikt worden. Een voorbeeld van een vaak gebruikte toewijzingsprocedure bij opsplitsbare taken is Round Robin. Bij niet-opsplitsbare taken kan men bijvoorbeeld een beroep doen op het FIFO-principe (First In First Out).

Tijdsperiode waarbinnen een taak uitgevoerd moet worden Bij het inplannen van sommige taken moet men rekening houden met een bepaalde tijdsperiode waarbinnen dit moet gebeuren. Dit maakt het probleem complexer. Wanneer een vrachtwagen met vers fruit om 6 uur 's ochtends aankomt bij een supermarkt moet dit fruit zo snel mogelijk naar een

gekoelde omgeving gebracht worden. Als dit niet gebeurt, begint het fruit te rotten en wordt het waardeloos. In dit voorbeeld kan men er bijvoorbeeld van uitgaan dat de taak “Vers fruit verplaatsen naar een gekoelde omgeving” tussen 6 en 8 uur ’s ochtends moet gebeuren. Er zijn nog heel wat andere situaties waar een taak binnen een bepaalde tijdsperiode uitgevoerd moet worden. Deze taken krijgen dan een **bepaalde prioriteit** ten opzichte van taken die niet binnen een bepaalde tijdsperiode uitgevoerd moeten worden.

3.3.1.3 Objectieven

Bij het opstellen van een personeelsplanning worden één of meerdere objectieven nagestreefd. Deze objectieven worden opgenomen in de doelfunctie van het mathematisch model. Objectieven kunnen zeer divers van aard en soms zelfs tegenstrijdig zijn. Als dit het geval is, moet er een bepaalde trade-off gemaakt worden. Het kiezen van de passende objectieven is zeer belangrijk bij personeelsplanningsproblemen. Zij zullen immers in grote mate de uiteindelijke “oplossing” beïnvloeden. In deze sectie zullen de meest voorkomende objectieven besproken worden.

Deze zijn:

- Minimaliseer de personeelskosten
- Minimaliseer het aantal benodigde werknemers
- Maximaliseer winst, inkomsten, . . .
- Maximaliseer werknemerstevredenheid
- Maximaliseer klantentevredenheid

Deze lijst is zeker niet exhaustief. De lezer die meer informatie wenst, wordt doorverwezen naar de relevante literatuur. *Workforce scheduling with multiple objectives* (Castillo *et al.*, 2009) is bijvoorbeeld een interessante paper waarin de mogelijke objectieven besproken worden en een techniek wordt uitgelegd om meerdere objectieven tegelijk in rekening te brengen.

Minimaliseer de personeelskosten. Meestal is het **minimaliseren van de personeelskosten** het hoofdobjectief bij het opstellen van de personeelsplanning. Zeker in de retailsector in het algemeen en de supermarktbranche in het bijzonder kan hier het verschil gemaakt worden. Deze sector is immers zeer arbeidsintensief. De loonkosten in een supermarkt vormen ongeveer de helft van de totale kosten (Marshoek, 2012), vandaar dat veel bedrijfsleiders hierop focussen om kosten te besparen. De loonkost is ook één van de weinige kosten waarop men rechtstreeks kan ingrijpen (het is een variabele kost, andere kosten zijn hoofdzakelijk vaste kosten). Bovendien worden de marges van deze bedrijven steeds verder afgeroomd. Onder andere door de verhoging van de (minimum)lonen vastgelegd in de CAO-overeenkomsten, maar ook door de steeds groter wordende onderlinge concurrentie tussen de supermarkten. Daarom proberen bedrijven hun beschikbare werknemers zo efficiënt mogelijk in te zetten.

Het minimaliseren van de personeelskosten is nauw verbonden met het objectief om het **aantal werknemers te minimaliseren**, maar biedt meer mogelijkheden. Bij het gebruik van de personeelskost kan de trade-off tussen het aannemen van nieuwe werknemers, het gebruik van overuren, het gebruik van tijdelijke werknemers, . . . opgenomen worden door aan elk van deze maatregelen een kost toe te kennen. Bij het minimaliseren van het aantal werknemers wordt hier geen rekening mee gehouden.

Maximaliseer winst, inkomsten, . . . Het objectief om de kosten te minimaliseren wordt soms vervangen door/aangevuld met het objectief om de winst, inkomsten, . . . te maximaliseren. Bedrijven willen financieel rendabel zijn, vandaar dat objectieven die hieraan gerelateerd zijn ook vaak in de personeelsplanning opgenomen worden. Chapados *et al.* (2011) (zie ook sectie 3.2.2 Personeelsplanning in de retailsector) hebben in hun onderzoek het maximaliseren van de winst als hoofdobjectief genomen.

Maximaliseer werknemers- en klanttevredenheid. Natuurlijk mag men bij de optimalisatie van de personeelsplanning niet enkel het minimaliseren van de kosten of het maximaliseren van de winst nastreven. Nochtans, gebeurde dit in het verleden al te vaak. Gelukkig groeit meer en meer het besef dat **werknemers- en klanttevredenheid** ook zeer belangrijk zijn. Om het **personeel** tevreden te houden is het belangrijk dat de directie hen voldoende inspraak geeft bij het opstellen van de personeelsplanning. Dit kan bijvoorbeeld

door rekening te houden met hun **preferenties**. Iedere persoon heeft voorkeuren om op bepaalde tijdstippen wel of niet te werken en de personeelsplanning moet hier zoveel mogelijk rekening mee houden. Het is echter niet altijd haalbaar om alle preferenties van het personeel in te willigen. Werknemers verstaan dit wel, maar het is belangrijk dat ze het systeem als **fair** percipiëren. Wanneer werknemers het gevoel hebben dat ze niet fair behandeld worden, zullen ze ontevreden zijn. Het installeren van een fair systeem is ook belangrijk bij de verdeling van bijvoorbeeld weekendwerk. (Bijna) niemand doet graag weekendwerk, maar wanneer de verdeling fair verloopt zullen de werknemers hier minder moeite mee hebben. Bepaalde werkgevers nemen ook een richtlijn met betrekking tot het *utilization level* (bezettingsgraad) op bij hun objectieven. Het utilization level is een maatstaf die de tijd die de werknemers effectief aan het werken zijn in verhouding tot de totale werktijd voorstelt. Bij een te hoog utilization level zullen de werknemers overbelast en ontevreden zijn. Een te laag utilization level gaat gepaard met inefficiënties en verhoogde kosten. Daarom stelt men een bepaald “ideaal” utilization level voorop en voegt men een *penalty cost* (kost uitgedrukt in strafpunten) toe aan de doelfunctie (die dan geminimaliseerd moet worden). Hierbij worden strafpunten toegekend wanneer er afgeweken wordt van het ideale utilization level.

Ook aan de **tevredenheid van klanten** wordt steeds meer aandacht geschonken. Er zijn een aantal elementen die een grote invloed hebben op de klantentevredenheid. Eén ervan is de **wachttijd**, deze moet zoveel mogelijk beperkt worden. De meeste bedrijven stellen een **bepaald service level** voorop. Het service level stelt het percentage klanten, dat men binnen een bepaald tijdsinterval wil bedienen, voor. Verder houdt men vaak ook rekening met de gewenste gemiddelde en maximale wachttijd bij het bepalen van het aantal benodigde personeelsleden. Soms stelt men ook richtlijnen op voor de maximale lengte van de wachtrij, maximale wachttijd in de rij, . . . Andere zaken die de klantentevredenheid kunnen beïnvloeden zijn: aangeboden hulp bij een probleem, netheid van de winkel, beschikbaarheid van de gewenste goederen, . . .

We kunnen dus concluderen dat het hoog houden van werknemers- en klanttevredenheid belangrijke objectieven zijn tijdens de personeelsplanningsfase. Uitsluitend focussen op het minimaliseren van de kosten of het maximaliseren van de winst, zou wel eens zeer nadelige gevolgen kunnen hebben voor de onderneming. Vandaar dat ondernemingen op zoek moeten gaan naar de ideale trade-off tussen kosten, werknemerstevredenheid en klanttevredenheid.

3.3.1.4 Restricties

Personeelsplanningsproblemen bevatten een groot aantal restricties waaraan voldaan moet worden. Deze restricties kunnen onderverdeeld worden in twee groepen, namelijk harde en zachte restricties. In een eerste paragraaf zullen we dit onderscheid verklaren⁵. Naast deze basisindeling van restricties zijn er nog heel wat andere indelingen mogelijk. In het vervolg van deze sectie zullen we de indeling die Van den Bergh *et al.* (2013) in hun overzichtspaper gebruikt hebben, bespreken.

Harde en zachte restricties **Harde restricties** moeten altijd voldaan zijn om een realiseerbare planning te verkrijgen. Ze zijn meestal het gevolg van een bepaalde overeenkomst met werknemers en/of vakbonden. Wettelijke regels geven ook vaak aanleiding tot harde restricties. **Zachte restricties** zijn bepaalde vereisten die wenselijk, maar niet verplicht zijn. Ze mogen dan ook geschonden worden, maar er zullen hiervoor wel *penalties* (strafpunten) toegekend worden. Deze **penalties** worden opgenomen in de doelfunctie. De grootte van de penalty wordt bepaald door de soort restrictie die geschonden wordt en hoe vaak ze geschonden wordt. Zachte restricties worden vaak gebruikt om de kwaliteit van *feasible schedules* (realiseerbare plannings) te beoordelen.

Het is de bedoeling om een planning op te stellen waarbij aan alle harde restricties en zoveel mogelijk zachte restricties voldaan wordt. **Het onderscheid tussen harde en zachte restricties is echter niet altijd rechtlijnig.** Een bepaalde restrictie kan voor de ene onderneming een harde restrictie zijn, terwijl het voor de andere onderneming een zachte restrictie is.

⁵De uitleg omtrent het verschil tussen harde en zachte restricties is gebaseerd op het werk van Sigurdadóttir (2011).

Overzicht indeling Van den Bergh *et al.* (2013) Hieronder volgt een overzicht van de verschillende soorten restricties die Van den Bergh *et al.* (2013) in hun overzichtspaper geïdentificeerd hebben. In de volgende paragrafen zullen deze restricties verder besproken worden.

- Voldoende personeel om aan de vraag te voldoen (coverage constraint)
- Restricties mbt shifts
- Restricties mbt vaardigheidsniveau werknemers
- Restricties mbt pauzes
- Fairness en voorkeuren van de werknemers
- Tijdsgerelateerde restricties

Voldoende personeel om aan de vraag te voldoen (coverage constraint) Deze restrictie is één van de belangrijkste, zoniet de belangrijkste restrictie bij personeelsplanningsproblemen. In stap 2 van het personeelsplanningsproces werd het benodigde aantal werknemers om aan de vraag te voldoen, bepaald. Vanzelfsprekend is het in stap 3 (de planningsfase) aangewezen om ervoor te zorgen dat er steeds voldoende personeel ingepland wordt. Wanneer deze restrictie als **harde restrictie** wordt opgenomen, mag deze niet geschonden worden. Wanneer ze als **zachte restrictie** wordt opgenomen, kan ze wel geschonden worden, maar worden er strafpunten toegekend (zie ook eerste paragraaf van deze sectie). Sommige modellen gebruiken ook een **combinatie van de twee**. Hierbij zorgt de harde restrictie voor voldoende personeel, terwijl de zachte restrictie ervoor zorgt dat het aantal werknemers geminimaliseerd wordt.

Als de coverage constraint opgenomen wordt als harde restrictie is *understaffing* (onderbezetting) niet toegelaten. In alle andere gevallen dient er een keuze gemaakt te worden mbt het **toelaten van understaffing/overstaffing** (overbezetting). Toelaten van understaffing/overstaffing verhoogt de flexibiliteit van het planningsproces.

Restricties mbt shifts In heel wat (grote) ondernemingen wordt er met een shiftsysteem gewerkt. Kenmerken van een shiftsysteem zijn bijvoorbeeld: overlap (toegelaten/niet toegelaten), starttijden(vast/flexibel), lengte(vast/flexibel), ... **Een werknemer kan enkel toegewezen worden aan een shift die toegelaten wordt door het shiftsysteem.**

Restricties mbt vaardigheidsniveau werknemers Als bedrijf kan je ervoor kiezen om rekening te houden met het vaardigheidsniveau van de werknemers wanneer deze worden toegewezen aan bepaalde taken/shifts. **Enkel werknemers die de nodige *skills* hebben, kunnen aan een bepaalde taak/shift toegewezen worden.**

Restricties mbt pauzes In sommige modellen worden de pauzes opgenomen bij het opstellen van het model, in andere niet. Er moet hierbij een afweging gemaakt worden tussen de voor- en nadelen van het op voorhand inplannen van pauzes. Het **opnemen van pauzes in het model verhoogt de complexiteit van het probleem** (doordat er extra restricties aan het model toegevoegd worden). Er is echter duidelijkheid over wanneer elke werknemer pauze heeft. Mogelijke nadelen zijn een gebrek aan flexibiliteit op het moment zelf en minder productieve werkkrachten wanneer een toegekende pauze afgenomen wordt omdat het bijvoorbeeld te druk is. Een mogelijk nadeel van het beslissen over pauzes op het moment zelf is het gebrek aan efficiëntie. Wanneer de manager op het moment zelf beslist wie wanneer pauze mag nemen, zal dit doorgaans minder efficiënt gebeuren dan wanneer dit vooraf gebeurt met behulp van planningssoftware.

Fairness en voorkeuren van de werknemers Bij het opstellen van een personeelsplanning tracht men vaak om tot een **faire planning** te komen. Hiermee bedoelt men dat alle werknemers een gelijkaardig werkschema hebben. Concreet doet men dit meestal door te werken met een zachte restrictie en strafpunten toe te kennen aan onpopulaire shifts. Hierna probeert men de strafpunten van de roosters van de werknemers te *levelen* en onder een bepaald niveau te houden.

Steeds meer werkgevers zijn ook bereid om rekening te houden met **specifieke voorkeuren van het personeel**. Werknemers kunnen een voorkeur hebben voor bepaalde shifts, werkdagen, werklocatie, ... Door het opnemen van deze voorkeuren als zachte restricties in het model, worden deze voorkeuren zoveel mogelijk ingewilligd.

Tijdsgerelateerde restricties Tabel 3.9 geeft een overzicht van een aantal tijdsgerelateerde restricties die vaak gebruikt worden bij personeelsplanningsproblemen. Deze restricties hebben betrekking op een bepaalde tijdsperiode (1 week, 1 maand, ...). Tabel 3.9 is zeker niet exhaustief, er bestaan immers zeer veel tijdsgerelateerde restricties. Welke restricties er opgenomen worden in het model hangt af van de onderneming in kwestie.

Min # shifts	Max # shifts
Min # shifts v/e bepaald shifttype	Max # shifts v/e bepaald shifttype
Min # opeenvolgende werkdagen	Max # opeenvolgende werkdagen
Min # opeenvolgende vrije dagen	Max # opeenvolgende vrije dagen
Min # werkuren	Max # werk- en overuren
Min # werkdagen	Max # werkdagen
Minimale tijd tussen 2 shifts	Identiek weekend
Max # weekends in # weken	Max # opeenvolgende weekends

Tabel 3.9: Voorbeelden tijdsgerelateerde restricties

3.3.1.5 Opstellen van het mathematisch model

In de vorige secties (sectie 3.3.1.1 - sectie 3.3.1.4) werden de vier belangrijkste factoren tijdens de planningsfase, namelijk personeel, taken, objectieven en restricties besproken. Wanneer alle benodigde informatie hieromtrent verzameld is, kan men overgaan tot het opstellen van het mathematisch model (Thompson, 1999a). Dit mathematisch model heeft als doel om de **werknemers toe te wijzen aan shifts, taken, ...**⁶ In deze sectie zullen we de structuur van een mathematisch model weergeven aan de hand van een **éénvoudig, fictief voorbeeld**. Er werd ervoor geopteerd om een voorbeeld uit de retailsector uit te werken en hiervoor werd data van Delhaize Watersportbaan gebruikt. Omdat dit voorbeeld dient om de basisprincipes van een mathematisch model te illustreren, werden een aantal gegevens aangepast. Ook werden hier en daar assumpties genomen. Deze zullen telkens expliciet vermeld worden. Dit voorbeeld heeft ook als bedoeling om de lezer al wat voeling te geven met de context waarin het praktijkgedeelte van deze thesis (zie deel 2 Praktijkstudie) werd uitgevoerd.

⁶Het specifieke doel van het model hangt af van het doel dat vooraf werd bepaald. Soms worden werknemers enkel aan shifts toegewezen, soms wordt er ook al bepaald welke taken iedere werknemer zal uitvoeren.

Situatieschets We zullen de personeelsplanning opstellen voor de beenhouwerij-afdeling van Delhaize Watersportbaan voor **1 week** (28/09/2015 - 04/10/2015). Delhaize Watersportbaan is gesloten op zondag, dus er dient enkel een planning opgesteld te worden voor maandag tem zaterdag. Op basis van een voorspelling van de verwachte vraag, werd via een softwareprogramma (Timesquare) bepaald **hoeveel werknemers nodig zijn op ieder tijdstip van de dag**⁷ om alle taken uit te voeren. Dit is de output die normaal gezien verkregen wordt na stap 2 van het planningsproces (zie bijlage B, sectie B.2). Tabel 3.10 toont deze gegevens voor het voorbeeld. Uit deze gegevens blijkt dat er dagelijks werknemers nodig zijn **tussen 6u en 20u**.

Tijdsperiode	Tijdstip(uur)	Maandag	Dinsdag	Woensdag	Donderdag	Vrijdag	Zaterdag	Zondag
1	6:00-7:00	3	1	1	3	3	3	0
2	7:00-8:00	3	3	3	2	3	3	0
3	8:00-9:00	3	3	2	2	4	4	0
4	9:00-10:00	3	3	2	2	4	4	0
5	10:00-11:00	3	2	2	2	4	4	0
6	11:00-12:00	3	2	2	2	4	4	0
7	12:00-13:00	2	1	1	1	3	3	0
8	13:00-14:00	2	1	1	1	3	3	0
9	14:00-15:00	2	1	1	1	3	3	0
10	15:00-16:00	2	1	2	2	2	3	0
11	16:00-17:00	1	1	1	1	1	2	0
12	17:00-18:00	1	1	1	1	1	1	0
13	18:00-19:00	1	1	1	1	1	1	0
14	19:00-20:00	1	1	1	1	1	1	0

Tabel 3.10: Aantal benodigde werknemers per tijdsperiode

In stap 3 van het planningsproces is het de bedoeling dat we met behulp van een mathematisch model werknemers toewijzen aan bepaalde shifts zodat er op ieder moment van de dag voldoende werknemers aanwezig zijn. Om het voorbeeld éénvoudig te houden gaan we ervan uit dat er **zes mogelijke shifts** zijn per dag (deze duren allen 9 uur). In werkelijkheid worden er zeer veel verschillende soorten shifts gebruikt, zeker in de retailsector (zie sectie 3.2.2.1). Deze kunnen op ieder moment van de dag starten en er is ook een grote variatie in de lengte van de shifts. De gebruikte shifts in dit voorbeeld worden weergegeven in tabel 3.11. Bij iedere shift wordt ook de **kost om deze shift door één werknemer te laten uitvoeren**, vermeld. Deze kost is berekend op basis van een kost per uur van € 40 in de

⁷Er werd hier reeds een buffer toegevoegd om de beschikbaarheid van werknemers (ziek zijn, te laat komen, ...) in rekening te brengen.

tijdsperiode 8u-18u en € 45 in de tijdsperiode 6u-8u & 18u-20u⁸. Merk op dat we hier enkel werknemers zullen toewijzen aan shifts, de verdeling van de verschillende taken wordt niet opgenomen in dit model. Voor een theoretische bespreking van de toewijzing van werknemers aan taken verwijzen we naar hoofdstuk 4. In deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7, wordt de toewijzing van werknemers aan taken ook op een meer praktische manier benaderd aan de hand van een aantal experimenten.

	Tijdsduur	Kost
Shift 1	06:00 - 15:00	€ 370,00
Shift 2	07:00 - 16:00	€ 365,00
Shift 3	08:00 - 17:00	€ 360,00
Shift 4	09:00 - 18:00	€ 360,00
Shift 5	10:00 - 19:00	€ 365,00
Shift 6	11:00 - 20:00	€ 370,00

Tabel 3.11: Shifts

In de beenhouwerij-afdeling werken **9 werknemers**. Tabel 3.12 toont de belangrijkste eigenschappen van deze werknemers. Als eerste wordt de tewerkstellingsgraad vermeld. Een werknemer die 100% werkt, mag **maximum 36 uur per week werken**. Om het voorbeeld éénvoudig te houden zullen we geen overuren toelaten. Iedere werknemer heeft ook zijn voorkeur kunnen uitspreken met betrekking tot de shifts⁹. Bovendien mochten ze één dag opgeven waarop ze liefst niet zouden werken. Het is de bedoeling dat het mathematisch model **zoveel mogelijk rekening zal houden met deze voorkeuren**. We gaan ervan uit dat alle werknemers alle taken binnen de beenhouwerij-afdeling kunnen uitvoeren. Er wordt dus geen onderscheid gemaakt op basis van competenties¹⁰.

⁸Deze kosten zijn gebaseerd op het artikel *Arbeidskosten volgens activiteit* (Statistics Belgium, 2013).

⁹Vroege shifts: shift 1 & shift 2, late shifts: shift 5 & shift 6.

¹⁰Tijdens het praktijkgedeelte van deze thesis (zie deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7) zullen we wel rekening houden met een verschil in competenties tussen de werknemers.

	Tewerkstelling	Voorkeuren shifts	Voorkeuren vrije dag
Werknemer 1	100%	Geen vroege shifts	Dinsdag
Werknemer 2	100%	Geen late shifts	Woensdag
Werknemer 3	100%	/	Maandag
Werknemer 4	100%	Geen vroege shift op maandag Geen late shift op zaterdag	Donderdag
Werknemer 5	75%	Geen late shifts	Zaterdag
Werknemer 6	75%	/	/
Werknemer 7	75%	Geen vroege shifts	Maandag
Werknemer 8	50%	Enkel vroege shifts	Vrijdag
Werknemer 9	50%	/	Woensdag

Tabel 3.12: Eigenschappen werknemers

Mathematisch model Op basis van voorgaande informatie zullen we nu het mathematisch model opstellen voor dit planningsprobleem. Om dit op een overzichtelijke manier te doen, wordt er gebruik gemaakt van een aantal categorieën: notaties, beslissingsvariabelen, parameters, doelfunctie en restricties.

Notaties

W : verzameling van werknemers, $W = \{1, 2, \dots, 9\}$

S : verzameling van shifts, $S = \{1, 2, \dots, 6\}$

D : verzameling van dagen, $D = \{1, 2, \dots, 7\}$

T : verzameling van tijdsperioden, $T = \{1, 2, \dots, 14\}$

Beslissingsvariabelen

$y(w, s, d) : 1$, als werknemer w toegewezen wordt aan shift s op dag d

0 , anders

Parameters

$a(s, d, t) : 1$, als shift s op dag d tijdsperiode t omvat

0, anders

$r(t, d) : \text{aantal benodigde werknemers gedurende tijdsperiode } t \text{ op dag } d$

$c(w, s, d) : \text{kost om werknemer } w \text{ shift } s \text{ te laten uitvoeren op dag } d$

$p(w, s, d) : \text{penalty score van werknemer } w \text{ voor shift } s \text{ op dag } d$

0 : voorkeur voor deze shift

100 : afkeer voor deze shift

1000 : zeker geen shift toewijzen, want vrije dag gewenst

$t(w) : \text{tewerkstellingsgraad van werknemer } w \text{ (100\% = 1; 75\% = 0,75 en 50\% = 0,50)}$

Doelfunctie

$$\text{Min} \sum_{w \in W} \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} c(w, s, d) * y(w, s, d) + \sum_{w \in W} \sum_{s \in S} \sum_{d \in D} p(w, s, d) * y(w, s, d)$$

Restricties

1. Voldoen aan de vraag (coverage constraint)

$$\forall d \in D, t \in T :$$

$$\sum_{w \in W} \sum_{s \in S} a(s, d, t) * y(w, s, d) \geq r(t, d)$$

2. Maximum één shift per dag werken

$$\forall w \in W, d \in D :$$

$$\sum_{s \in S} y(w, s, d) \leq 1$$

3. Niet meer shifts werken dan bepaald in contract (100% = 4 shifts per week)

$$\forall w \in W :$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{d \in D} y(w, s, d) \leq 4 * t(w)$$

4. Binaire restrictie

$$y(w, s, d) \in \{0, 1\}$$

Bespreking mathematisch model Ondanks het feit dat het hier om een vrij éénvoudig voorbeeld gaat, zijn alle typische onderdelen van een mathematisch model toch aanwezig. Eerst worden de gebruikte **notaties** verduidelijkt. Vervolgens wordt de **beslissingsvariabele** gedefinieerd. In dit voorbeeld is dit de binaire variabele $y(w,s,d)$, die bepaalt welke werknemer welke shift op welke dag uitvoert. De bedoeling van het mathematisch model is om de ideale waarden voor deze beslissingsvariabele te vinden. Hierna worden de **parameters** opgelijst. Dit zijn vaste waarden die vooraf bepaald werden en die een bepaalde invloed zullen uitoefenen op de uitkomst van het model. De parameter $r(t,d)$ zal bijvoorbeeld een belangrijke invloed hebben op het aantal werknemers dat aan een bepaalde shift wordt toegewezen. Het aantal aanwezige werknemers moet gedurende iedere tijdsperiode t immers steeds groter of gelijk zijn aan $r(t,d)$ (zie coverage constraint bij de restricties).

Dan wordt de **doelfunctie** gedefinieerd. In dit voorbeeld worden de **financiële (loon)kosten** ($c(w,s,d)$) en de **penalty kosten** ($p(w,s,d)$) die betrekking hebben op de voorkeur van de werknemers geminimaliseerd. Door deze penalty kosten op te nemen in de doelfunctie, wordt het voldoen aan de voorkeuren van de werknemers opgenomen als zachte restrictie in het model. Werknemers mogen wel toegewezen worden aan shifts die ze eigenlijk niet willen doen, maar dit wordt zoveel mogelijk vermeden. **De waarden die voor de penalty kosten gebruikt worden, dienen in verhouding te staan tot de andere elementen in de doelfunctie.** In dit voorbeeld is dit de kostprijs van een shift. De kostprijs van een shift varieert tussen de € 360 en € 370. De penalty kosten variëren tussen de 0 en de 1000. Doordat we een penalty kost van 1000 (deze penalty kost ligt duidelijk veel hoger dan de kost van een shift) gebruiken wanneer de werknemer een vrije dag wenst, is de kans zo goed als onbestaande dat deze werknemer toegewezen wordt aan een shift op die dag. Wanneer we een lagere waarde voor deze penalty kost zouden gebruiken, is de kans al groter dat de werknemer toch aan een shift op die dag toegewezen wordt. Tot slot willen we nog opmerken dat deze penalty kost hier geen reële kost voorstelt. Een penalty kost van 1000 wil dus niet zeggen dat er € 1000 moet betaald worden wanneer de werknemer toch moet werken als hij liever vrijaf gehad had. Deze penalty kost wordt enkel gebruikt om zoveel mogelijk rekening te houden met de preferenties van de werknemers.

Tot slot worden de **restricties** opgesteld. Alle restricties die hier vermeld worden zijn harde restricties en mogen dus niet geschonden worden. In dit voorbeeld werden de restricties beperkt tot een minimum: zorg dat er voldoende werknemers ingepland worden, dat werknemers maximum één shift per dag werken en dat ze niet meer werken dan vastgelegd in hun contract. Tot slot is er nog de binaire restrictie, die ervoor zorgt dat de beslissingsvariabele $y(w,s,d)$ de waarde 0 of 1 aanneemt. In de realiteit zijn er nog veel meer restricties waar rekening mee gehouden moet worden. Hoe meer restricties er opgenomen worden, hoe complexer het model wordt en hoe moeilijker het wordt om een optimale oplossing te vinden. Bij complexe modellen doet men vaak een beroep op (meta-)heuristieken. Dit zijn algoritmes die op een slimme manier op zoek gaan naar een zeer goede oplossing. Bij het gebruik van (meta-)heuristieken kan echter niet gegarandeerd worden dat de gevonden oplossing de optimale oplossing is. Zie ook bijlage C Oplossingsmethodes voor personeelsplanningsproblemen voor meer informatie over (meta-)heuristieken en andere oplossingsmethodes.

Oplossing Bovenstaand mathematisch model werd geoptimaliseerd in MS Excel 2013 met behulp van de *Oplosser*. Deze Oplosser maakt gebruik van de **simplexmethode**¹¹ om het mathematisch model te optimaliseren. Aangezien ons model lineair is (het bestaat enkel uit lineaire vergelijkingen), is dit de meest geschikte oplossingsmethode. De lezer die meer informatie wenst over de simplexmethode kan hoofdstuk 4 van het boek *Introduction to Operations Research* (Hillier & Liebermann, 2010) raadplegen. Tabel 3.13 toont het uurrooster waarbij de doelfunctie geminimaliseerd werd, terwijl aan alle restricties voldaan werd. In totaal worden er gedurende deze week **29 shifts gewerkt**. Deze werden verdeeld onder de werknemers op basis van hun tewerkstellingsgraad¹² en hun voorkeuren. Er zijn **geen penalty kosten**, wat wil zeggen dat aan alle voorkeuren van de werknemers voldaan werd. **De totale financiële (loon)kost bedraagt € 10 670.**

¹¹De simplexmethode werd in 1947 ontwikkeld door George Dantzig (Dantzig, 1987). Indien het lineaire optimaliseringsprobleem oplosbaar is, lost de simplexmethode dit op in een eindig aantal stappen. Indien dit niet het geval is, stelt de simplexmethode de onoplosbaarheid van het probleem vast.

¹²PT: part-time i.e. < 100%, FT: full-time i.e. 100%.

		Uurrooster						
Werknemer	PT/FT	Maandag	Dinsdag	Woensdag	Donderdag	Vrijdag	Zaterdag	Zondag
Werknemer 1	100%	11:00 - 20:00	vrij	11:00 - 20:00	vrij	11:00 - 20:00	09:00 - 18:00	vrij
Werknemer 2	100%	06:00 - 15:00	vrij	vrij	06:00 - 15:00	08:00 - 17:00	08:00 - 17:00	vrij
Werknemer 3	100%	vrij	vrij	06:00 - 15:00	06:00 - 15:00	06:00 - 15:00	06:00 - 15:00	vrij
Werknemer 4	100%	vrij	06:00 - 15:00	07:00 - 16:00	vrij	06:00 - 15:00	06:00 - 15:00	vrij
Werknemer 5	75%	06:00 - 15:00	vrij	07:00 - 16:00	vrij	06:00 - 15:00	vrij	vrij
Werknemer 6	75%	09:00 - 18:00	vrij	vrij	08:00 - 17:00	vrij	06:00 - 15:00	vrij
Werknemer 7	75%	vrij	11:00 - 20:00	vrij	11:00 - 20:00	vrij	11:00 - 20:00	vrij
Werknemer 8	50%	vrij	06:00 - 15:00	vrij	06:00 - 15:00	vrij	vrij	vrij
Werknemer 9	50%	06:00 - 15:00	06:00 - 15:00	vrij	vrij	vrij	vrij	vrij
Aantal werknemers		5	4	4	5	5	6	0

Tabel 3.13: Uurrooster werknemers beenhouwerij-afdeling

Het is belangrijk om op te merken dat in het mathematisch model gebruik gemaakt wordt van allerhande parameters. Het is echter niet zeker dat de waarden die aan deze parameters toegewezen werden, 100% overeenstemmen met de werkelijkheid. Voor bepaalde parameters is de kans zelfs zeer groot dat ze fout zijn. Denk bijvoorbeeld aan het benodigde aantal werknemers per tijdsperiode. Deze parameter wordt berekend op basis van de voorspelde vraag. We hebben echter reeds vermeld dat **voorspellingen per definitie fout zijn** (zie ook bijlage B, sectie B.1 Stap 1: Voorspel de vraag). Daarom is het interessant om te testen wat de invloed van een wijziging van één van de parameters op de uiteindelijke oplossing is.

Men kan dit doen aan de hand van een **sensitiviteitsanalyse**¹³. Hierbij wijzigt men de waarden van één van de parameters, terwijl alle andere parameters constant gehouden worden. Zo kan men duidelijk het **effect van deze wijziging bestuderen**. Deze sensitiviteitsanalyse kan men uitvoeren voor alle gewenste parameters.

Een oplossing wordt als **robuust** beschouwd wanneer een wijziging van de parameters weinig invloed heeft op de uiteindelijke oplossing. Wanneer een wijziging van bepaalde parameters wel een grote invloed op de oplossing heeft, kan men **hiermee rekening houden bij het nemen van bepaalde strategische, tactische, economische, ... beslissingen** (hangt af van het probleem dat onderzocht wordt). Als men bijvoorbeeld verwacht dat het aantal benodigde werknemers per tijdsperiode zal stijgen, kan men deze verwachte stijging al eens in het model invoeren. Zo kan men bepalen hoeveel extra werknemers er nodig zullen en op basis van deze analyse kan men dan proactief op zoek gaan naar nieuwe werknemers.

¹³Voor een praktisch voorbeeld van een sensitiviteitsanalyse verwijzen we naar deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7, sectie 7.1.2 Experimenten.

3.3.1.6 Enkele uitbreidingsmogelijkheden mathematisch model

Bovenstaand mathematisch model werd bewust éénvoudig gehouden om alle basisprincipes uit te kunnen leggen. Voor reële problemen zal dit model echter aangepast/uitgebreid moeten worden. In deze sectie zullen we enkele van deze uitbreidingsmogelijkheden bespreken. Vele (grote) bedrijven bestaan bijvoorbeeld uit **verschillende afdelingen**. Wanneer dit het geval is, moeten de werknemers niet enkel aan een specifieke shift op een bepaalde dag worden toegewezen, ze moeten ook aan een bepaalde afdeling worden toegewezen. Dit kan gepaard gaan met een aantal extra restricties (vb. niet alle werknemers kunnen op alle afdelingen werken, sommige werknemers kunnen tijdens een bepaalde shift op meerdere afdelingen werken, ...).

Verder moeten de werknemers meestal nog **toegewezen worden aan bepaalde taken**, die ze tijdens hun shift in een bepaalde volgorde moeten uitvoeren. Deze toewijzing kan op heel wat verschillende manieren verlopen afhankelijk van de context en de gemaakte afspraken binnen een bepaald bedrijf. Het kan zijn dat een aantal taken gekoppeld werden aan een bepaalde shift en dan zal de werknemer die aan deze shift werd toegewezen deze taken uitvoeren. Het is echter ook mogelijk dat een aantal werknemers werd toegewezen aan bepaalde shifts in een bepaalde afdeling zonder dat het op voorhand duidelijk is wie welke taken zal uitvoeren. In deze situatie heb je een aantal taken die binnen een bepaald tijdsinterval (vb. één dag) uitgevoerd moeten worden en een bepaald aantal beschikbare werknemers om deze taken uit te voeren. Er bestaan een aantal methodes om werknemers dan op een systematische manier aan taken toe te wijzen. Deze worden besproken in hoofdstuk 4 Toewijzing van taken aan werknemers. In deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7 zullen we de performantie verschillende toewijzingsmethodes met elkaar vergelijken op basis van een aantal experimenten.

3.3.2 Stap 4: Realtime controle

Nadat stap 3 van het personeelsplanningsproces uitgevoerd werd, beschikt de manager over een personeelsplanning. In deze planning staat er wie er wanneer moet werken. Stap 4 bestaat uit realtime controle. In deze stap wordt gecontroleerd of de planning in staat is om aan de vraag te voldoen. De realiteit wordt vergeleken met de verwachtingen op basis waarvan de personeelsplanning werd opgesteld. We weten reeds dat de verwachtingen nooit 100% correct zullen zijn (cfr. supra). Dit komt doordat de voorspelling van de vraag nooit volledig juist

is en werknemers zich niet altijd gedragen zoals verwacht werd (ze zijn ziek, komen te laat, ...). De meeste managers houden hier rekening mee door een extra buffer van werknemers in te plannen. Deze buffer is echter geen garantie dat er altijd aan de vraag voldaan zal kunnen worden. In deze sectie beschrijven we **wat realtime controle is en welke acties er ondernomen kunnen worden**. Deze beschrijving is gebaseerd op *Labor Scheduling, Part 4: Controlling Workforce Schedules in Real Time* (Thompson, 1999b).

Realtime controle vergelijkt het aantal aanwezige personeelsleden met het werkelijk benodigde aantal personeelsleden. Er kunnen twee soorten onevenwichten optreden: ofwel zijn er te veel personeelsleden aanwezig, ofwel zijn er te weinig personeelsleden aanwezig. Realtime controle voorziet ook acties om deze onevenwichten weg te werken. Deze acties kunnen van korte duur of van lange duur zijn. **Korte duur acties** hebben betrekking op een beperkte tijdsperiode (van een aantal minuten tot een uur). Voorbeelden van dit soort acties zijn: werknemers eerder dan gepland pauze geven of vroeger dan gepland uit hun pauze terugroepen, werknemers langere shifts laten doen (overuren), werknemers andere taken laten uitvoeren, ... Het voordeel van dit soort acties is dat ze gemakkelijk terug gestopt kunnen worden indien nodig en dat ze vrij goedkoop zijn. Het nadeel ervan is dat de impact meestal beperkt is. **Lange duur acties** zijn acties die langer dan een uur duren. Voorbeelden van lange duur acties zijn: werknemers vroeger naar huis sturen, extra werknemers oproepen, werknemers toewijzen aan een andere job, ... Het voordeel van lange duur acties is dat ze een grotere invloed zullen hebben dan korte duur acties. Het nadeel ervan is dat ze moeilijk omkeerbaar zijn.

De moeilijkheid van realtime controle is om te **beslissen wanneer en welk soort actie ondernomen moet worden**. Het is bijvoorbeeld niet omdat het 's ochtends drukker was dan verwacht en er te weinig personeel was, dat het nodig is om extra werknemers op te trommelen voor de namiddagshift. De drukte tijdens de ochtend kan een indicatie zijn dat het ook 's namiddags druk zal zijn, maar het kan evengoed betekenen dat de meeste klanten reeds 's ochtends langs geweest zijn en er 's namiddags dus minder klanten zullen zijn. De **ervaring van de manager** speelt een belangrijke rol bij het nemen van de juiste beslissing. Er zijn echter ook een aantal **methodes** die de manager hierbij kunnen helpen. Thompson (1999b) stelt bijvoorbeeld een vijfstappenplan voor om de vraag te monitoren. Hierbij bekijkt hij verschillende facetten van de vraag die ervoor zorgen dat hij een gedetailleerder beeld krijgt

van de vraag dan tijdens de planningsperiode. Hij maakt bijvoorbeeld gebruik van de gegevens over de werkelijke vraag gedurende de eerste uren van de dag om de vraag gedurende de rest van de dag beter te kunnen voorspellen en indien nodig acties te ondernemen.

De manager moet ook bepaalde (**externe**) **factoren** die een duidelijke invloed hebben op de vraag, maar waarover nog geen (gedetailleerde) gegevens beschikbaar waren tijdens het planningsproces, in het oog houden. Een voor de hand liggend voorbeeld hiervan is het weer. De baas van een ijssalon aan de kust heeft bijvoorbeeld extra werknemers opgetrommeld omdat er mooi weer voorspeld werd. 's Ochtends merkt hij echter dat het helemaal geen zo'n mooi weer is en dat dit waarschijnlijk de hele dag zo zal blijven. De baas van het ijssalon zal nu een aantal werknemers afbellen, want anders zal hij met een overschot aan personeel zitten. De vraag naar ijsjes is immers veel lager bij slecht weer dan bij mooi weer. Dit voorbeeld toont het belang van een goede realtime controle aan. Wanneer de controle niet adequaat gebeurt, kan dit leiden tot een personeeloverschot, dat gepaard gaat met hoge kosten of een personeelstekort, dat gepaard gaat met ontevreden klanten.

Tot slot wijzen we nog op het belang van **cross-trained werknemers** (werknemers die meerdere taken kunnen uitvoeren) bij realtime controle. Cross-trained werknemers zorgen immers voor een verhoogde flexibiliteit om met problemen om te gaan (Campbell & Diaby, 2002). Ze kunnen ingezet worden waar er een tekort is aan personeel. We kunnen dit aantonen met een éénvoudig voorbeeld (zie tabel 3.14). Stel dat een bedrijf drie verschillende soorten service aanbiedt (Service A, Service B en Service C). In stap 2 van het planningsproces werd bepaald dat de werknemersbehoefte om aan de vraag te kunnen voldoen 10 werknemers per service bedraagt. In situatie A kunnen de werknemers slechts 1 soort service verlenen. In situatie B kunnen alle werknemers alle soorten service uitvoeren (het zijn cross-trained werknemers). In beide situaties zullen op basis van de verwachte werknemersbehoefte 10 werknemers ingepland worden voor iedere service. Stel dat de effectieve werknemersbehoefte, die bepaald wordt door de werkelijke vraag, er als volgt uit ziet: 7 werknemers voor service A, 11 werknemers voor service B en 12 werknemers voor service C. De flexibiliteit van de werknemers in situatie B zorgt ervoor dat er voor iedere service voldoende werknemers aanwezig zijn (Er worden werknemers van service A overgeplaatst naar service B en service C) en er zijn dus geen onevenwichten. In situatie A zijn er wel onevenwichten: er zijn te veel werknemers voor

service A en te weinig werknemers voor service B en C. Bovenstaand voorbeeld illustreerde het belangrijkste voordeel van cross-trained werknemers, namelijk de **verhoogde flexibiliteit**. Deze verhoogde flexibiliteit gaat echter ook gepaard met **hogere kosten**: training van werknemers, cross-trained werknemers verwachten een hoger loon dan gewone werknemers, ... Zoals zo vaak moeten dus de kosten en de baten tegen elkaar afgewogen worden wanneer het management een beslissing neemt over het cross-traineren van werknemers.

	Werknemersbehoefte		Beschikbare werknemers		Onevenwichten	
	Verwacht	Effectief	Situatie A	Situatie B	Situatie A	Situatie B
Service A	10	7	10	7	3	0
Service B	10	11	10	11	-1	0
Service C	10	12	10	12	-2	0

Tabel 3.14: Flexibiliteit cross-trained werknemers

Hoofdstuk 4

Toewijzing van werknemers aan taken

Bij het lezen van hoofdstukken 2 en 3 heeft de lezer voldoende kennis opgedaan over de retail-sector en over het opstellen van een personeelsplanning om het vervolg van deze masterproef aan te kunnen vatten. Nu is het tijd om over te gaan tot één van de twee centrale thema's van deze masterproef. De centrale thema's van deze masterproef zijn: het toewijzen van werknemers aan taken en de research-application gap bij retailbedrijven. In dit hoofdstuk zullen we ons focussen op *multi-agent task allocation* (het toewijzen van werknemers aan taken). Het task allocation probleem kan onderzocht worden voor het toewijzen van taken aan machines en het toewijzen van taken aan werknemers (Eiselt & Marianov, 2008). Hier focussen we specifiek op de toewijzing aan werknemers. Bepaalde inzichten zijn echter wel toepasbaar in beide situaties. Het task allocation probleem is een zeer specifiek onderdeel van het personeelsplanningsprobleem en situeert zich op het **operationeel niveau**.

In dit hoofdstuk worden een aantal **basisinzichten** met betrekking tot het task allocation probleem besproken. Deze basisinzichten zijn noodzakelijk voor een goed begrip van het praktisch onderzoek van het task allocation probleem dat volgt in deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7. Daar zullen de karakteristieken van het task allocation probleem dat onderzocht wordt meer in detail besproken worden. Momenteel volstaat het om te weten dat er bij een task allocation probleem beslist moet worden **welke werknemers welke taken zullen uitvoeren**.

Niet alle bedrijven stellen een gedetailleerde personeelsplanning op waarbij werknemers reeds aan taken toegewezen worden. Eigen onderzoek bij retailbedrijven (zie deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 8 Research-application gap bij retailbedrijven) toonde aan dat 32% van de ondervraagde retailbedrijven werknemers reeds aan taken toewijst bij het opstellen van de personeelsplanning, 36% doet dit voor bepaalde werknemers, maar niet voor allemaal en 32% doet dit voor geen enkele werknemer (106 antwoorden).

Bij de bedrijven die dit niet doen, zoals bijvoorbeeld Delhaize Watersportbaan waar een deel van de praktijkstudie werd uitgevoerd, zien we dat de **planning vaak op shiftniveau** opgesteld wordt (werknemers worden toegewezen aan bepaalde shifts). Het **toewijzen van werknemers aan taken gebeurt dan manueel**, vaak door een afdelingschef. Deze wijst dan werknemers toe op basis van de noden van het moment. Dit doet hij op basis van zijn ervaring en intuïtie. Voordelen van deze methode zijn de **grote flexibiliteit** en de **mogelijkheid om onverwachte situaties op te vangen**. Nadelen zijn een **gebrek aan objectiviteit** (de kans bestaat dat bepaalde werknemers benadeeld worden door de keuzes van de afdelingschef) en **efficiëntie** (de kans is groot dat de manier van toewijzen die de afdelingschef gebruikt niet de meest efficiënte van alle mogelijke methodes is) (De Brouwer, B., 2015).

Hoewel de intuïtieve methode, die hierboven beschreven werd, in de praktijk vaak gebruikt wordt en zeker zijn voordelen heeft, zullen we **in dit hoofdstuk focussen op meer wetenschappelijke, geautomatiseerde toewijzingsmethodes** die gebruikt kunnen worden om werknemers op een efficiëntere manier aan taken toe te wijzen. We doen dit omdat eigen onderzoek (zie deel 2 Praktijkstudie, Hoofdstuk 8 Research-application gap bij retailbedrijven) heeft aangetoond dat (retail)bedrijven onvoldoende op de hoogte zijn van/gebruik maken van de beschikbare wetenschappelijke methodes voor het opstellen van een personeelsplanning in het algemeen en het toewijzen van werknemers aan taken in het bijzonder. Een efficiënte toewijzing van werknemers aan taken biedt **heel wat voordelen**: taken kunnen sneller uitgevoerd worden (tijds- en kostenbesparing), werknemers voeren taken uit die nauw aansluiten bij hun competenties (stijging van de productiviteit + tevredenheid van de werknemers), verhoogde transparantie (werknemers weten wat ze wanneer moeten doen), ... (De Brouwer, B., 2015).

Natuurlijk is het in de praktijk **niet altijd mogelijk om een vooropgestelde planning uit te voeren**. Zeker in de dynamische, onzekere omgeving waarin retailbedrijven opereren. Laten we dit illustreren aan de hand van een voorbeeld. Stel dat je er als bedrijf, na het lezen van deze thesis, voor kiest om het toewijzen van werknemers aan taken volledig automatisch te laten gebeuren. Dagelijks komt er een vrachtwagen met nieuwe goederen toe om 16u die onmiddellijk gelost moet worden. Het automatische planningsprogramma kan hier bijvoorbeeld twee werknemers voor toewijzen. Op een bepaalde dag is de vrachtwagen echter te laat en arriveert de lading nieuwe goederen slechts om 18u (het tijdstip waarop de werknemers normaal naar huis vertrekken). De vrachtwagen kon dus niet gelost worden om 16u, zoals gepland. Omdat de goederen de volgende dag zeker in de winkel moeten liggen, moet men hier manueel ingrijpen (vb. afdelingsverantwoordelijke moet werknemers overtuigen/verplichten om langer te blijven om deze vrachtwagen te lossen). Bovenstaand voorbeeld toont aan dat ook **automatische, wetenschappelijk onderbouwde toewijzingsmethodes op zichzelf niet altijd de ultieme oplossing** bieden (Segers, G., 2016). Het is **wel een zeer goed hulpmiddel** om een basisplanning op te stellen. In deze basisplanning kan trouwens ook al rekening gehouden worden met bepaalde onzekere gebeurtenissen.

In sectie 4.1 zullen we een overzicht geven van het onderzoek dat reeds gevoerd werd met betrekking tot *Multi-agent task allocation methods* (methodes om werknemers aan taken toe te wijzen). In sectie 4.2 bespreken we dan een aantal *priority rules*¹ (prioriteitsregels) voor de selectie van taken en werknemers die oorspronkelijk gebruikt werden om taken aan machines toe te wijzen, maar die ook gebruikt worden bij de toewijzing van werknemers aan taken (Mostaph & Mohamed, 2011). Deze rules zullen we illustreren aan de hand van een aantal voorbeelden en sommige rules zullen ook uitgetest worden tijdens de praktijkstudie (zie deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7, sectie 7.1.2, experimenten 11 & 12). Tot slot wordt het leerproces van de werknemers tijdens het uitvoeren van de taken kort toegelicht in sectie 4.3. Er zijn immers verschillende mogelijkheden om dit leerproces te definiëren. Bovendien speelt de parameter *learning* een belangrijke rol bij de experimenten die tijdens de praktijkstudie uitgevoerd worden (zie deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7).

¹We hebben ervoor gekozen om de term “Priority rule” onvertaald over te nemen uit het Engels omdat de meeste terminologie met betrekking tot priority rules ook in het Engels is en moeilijk te vertalen is naar het Nederlands.

4.1 Overzicht literatuur

Multi-agent resource allocation (MARA), *Multi-agent systems (MAS)* en *Multi-agent task allocation methods* zijn benamingen die vaak gebruikt worden voor het onderzoek dat het toewijzen van werknemers aan taken bestudeert. Veel onderzoek gebeurt binnen het vakgebied **artificiële intelligentie**. Hier wordt menselijke intelligentie met de rekenkracht en opslagtechnieken van een computer gecombineerd (Yudkowsky, 2008). Het task allocation probleem is immers NP-hard en de meeste realistische toepassingen hiervan kunnen niet zonder de hulp van een computer opgelost worden (Xueli & Zhansheng, 2013). Binnen het gebied van de artificiële intelligentie is men ook bezig met het ontwikkelen van robots/machines die op zichzelf kunnen leren en zo menselijke intelligentie kunnen verkrijgen (Goodell, J., 2016).

De kern van het multi-agent task allocation onderzoek is de **coördinatie van en de samenwerking tussen de agents** (werknemers) (Shehory & Kraus, 1998). Het is overduidelijk dat de beste toewijzing plaats vindt in een situatie waarbij de rekenkracht van het toewijzingsmechanisme (computer en/of persoon) niet beperkt wordt en het toewijzingsmechanisme het toewijzingsproces volledig controleert terwijl het over alle informatie in verband met de taken (duurtijd, moeilijkheid, deadlines, ...) en de werknemers (vaardigheidsniveau, beschikbaarheid, voorkeuren, ...) beschikt (Sarne & Kraus, 2005). Deze situatie is echter onrealistisch. In de praktijk beschikt iedere werknemer slechts over een beperkte hoeveelheid informatie en is niet alle informatie in verband met taken en werknemers vlot beschikbaar. Om de toewijzing van werknemers aan taken tot een goed einde te brengen moet er dan ook samengewerkt worden en voor de informatie waarover men niet beschikt moet men bepaalde realistische assumpties nemen.

Onderzoekers hebben verschillende toewijzingsmethodes ontwikkeld om het task allocation probleem zo goed mogelijk op te lossen. Op basis van de selectiemethode van de werknemers kunnen deze ingedeeld worden in 2 categorieën: de passieve acceptatie toewijzingsmethodes (Stroupe *et al.*, 2005) en de actieve keuze toewijzingsmethodes (Yanli & Heng, 2012). Bij de **passieve acceptatie toewijzingsmethodes** is er een *special agent* (fysiek persoon of softwareprogramma) die over alle beschikbare informatie in verband met taken en werknemers beschikt en op basis hiervan de taken aan de werknemers toewijst. De grootste nadelen van

deze toewijzingsmethodes zijn de grote hoeveelheid berekeningen die gemaakt moeten worden, de beperkte mogelijkheden om aanpassingen te doen op basis van last-minute veranderingen en communicatieproblemen. Deze methodes worden dan ook vooral toegepast in **statische omgevingen** (Xueli & Zhansheng, 2013). Bij de **actieve keuze toewijzingsmethodes** zijn de werknemers zelf meer betrokken. De werknemers bepalen welke taken ze kunnen uitvoeren op basis van lokale informatie en de huidige situatie. Via een iteratief negotiatieproces worden er beslissingen genomen. De voordelen van deze toewijzingsmethodes zijn snelle reactie, flexibiliteit, aanpassingen kunnen gemakkelijk doorgevoerd worden, ... Deze methodes worden dan ook toegepast in **dynamische en open omgevingen** (Xueli & Zhansheng, 2013).

De toewijzingsmethode die Campbell en Wu (2007) in hun onderzoek gebruiken is een **passieve acceptatie toewijzingsmethode**. Hierbij is er een centrale entiteit (het softwareprogramma) die beschikt over alle informatie in verband met de set uit te voeren taken (duur-tijd en moeilijkheid) en werknemers (beschikbaarheid en (verwacht) vaardigheidsniveau). Op basis van deze informatie wijst de centrale entiteit taken toe aan werknemers met de bedoeling om de set van taken zo snel mogelijk uitgevoerd te hebben. Bovendien worden er twee soorten toewijzingsmethodes getest: een éénvoudige first-come-first-serve methode en een meer geavanceerde best-fit methode. In deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7 wordt dit onderzoek in detail besproken en wordt het gebruikte model uitgebreid en verder onderzocht. Voor andere toepassingen van passieve acceptatie toewijzingsmethodes verwijzen we u door naar het werk van Stroupe *et al.* (2005).

Er zijn vele **actieve keuze toewijzingsmethodes** beschikbaar, zoals de *market based method* (Yanli & Heng, 2012), de *auction-based approach* (Sarne & Kraus, 2005; Su-Mei, 2011), de *swarm-intelligence-based method* (Liu & Zhang, 2010), ... In dynamische omgevingen kan geen enkele werknemer onafhankelijk keuzes in verband met taaktoewijzing maken zonder dat andere werknemers hierdoor beïnvloed worden. Wanneer werknemers actief betrokken worden bij de toewijzing van taken speelt het onderlinge gedrag van deze werknemers dus een belangrijke rol. Vandaar dat bij dit soort toewijzingsmethodes ook vaak een beroep wordt gedaan op principes uit de **speltheorie** (Marden *et al.*, 2009; Aijin *et al.*, 2005; Pendharkar, 2012). Chapman *et al.* (2009) beschrijft het task allocation probleem bijvoorbeeld als een stochastisch spel. Om een evenwichtssituatie te bekomen die aanvaardbaar is voor alle werk-

nemers, moet rekening gehouden worden met het gedrag van deze werknemers in verschillende situaties.

Sommige auteurs (Chevaleyre *et al.*, 2006; Parker, 2013) gebruiken twee andere categorieën om task allocation problemen in te delen, namelijk centrale en decentrale toewijzingsmethodes. Bij **centrale toewijzingsmethodes** beslist een centrale entiteit over de toewijzing van taken aan werknemers, eventueel nadat gepolst werd naar de preferenties van de werknemers (Chevaleyre *et al.*, 2006). *Combinatorial auctions* zijn een typisch voorbeeld van dergelijke methode. Hierbij kan de centrale entiteit gezien worden als de veilingmeester en het uiten van preferenties van werknemers kan gezien worden als een bieding. Rekening houdende met bepaalde restricties wordt dan getracht om de werknemer met de hoogste preferentie toe te wijzen aan een bepaalde taak. Bij **decentrale toewijzingsmethodes** gebeurt de toewijzing op basis van een reeks lokale onderhandelingsstappen (Chevaleyre *et al.*, 2006). Deze decentrale toewijzingsmethodes zijn vaak gebaseerd op de natuur (Parker, 2013). Sociale insecten worden gebruikt als schoolvoorbeeld voor het oplossen van het task allocation probleem op een decentrale manier. Ze zijn immers in staat om de verdeling van taken te regelen zonder centrale controle (Anderson & Franks, 2001). Het onderzoek van Franks (1986) toont dat mieren van verschillende groottes andere taken zullen uitvoeren. Grote mieren gaan op zoek naar voedsel omdat ze grotere hoeveelheden kunnen dragen dan kleinere mieren. Deze kleinere mieren voeren dan andere taken uit in het nest.

Het is belangrijk om op te merken dat er momenteel veel meer rekening wordt gehouden met de **inbreng van werknemers** dan vroeger. Althans in de meeste bedrijven. Deze trend heeft ook een invloed op de gehanteerde methodes voor het toewijzen van taken: decentrale methodes worden vaker toegepast dan voorheen (Laloux, F., 2014). Er zijn zelfs organisaties die werknemers het werk volledig autonoom laten verdelen. Hierbij moeten de werknemers onderling negotiëren tot er een finale oplossing gevonden wordt waar iedereen akkoord mee gaat. Frederic Laloux (2014) schreef het boek *Reinventing organizations* waarin deze trend uitvoerig behandeld wordt.

Uit bovenstaande uiteenzetting blijkt dat er heel wat methodes beschikbaar zijn om werknemers toe te wijzen aan taken. Welke toewijzingsmethode het meest geschikt is, hangt af van de **karakteristieken van het specifieke task allocation probleem** dat opgelost moet wor-

den. De **beschikbare hoeveelheid informatie** speelt bijvoorbeeld een zeer belangrijke rol. Voor gesofisticeerde toewijzingsmethodes is meestal heel wat informatie nodig om tot goede resultaten te komen. Indien deze informatie niet beschikbaar is, moet er voor éénvoudigere toewijzingsmethodes geopteerd worden. Ook de **objectieven van de werkgever** spelen een belangrijke rol. Is het hoofdobjectief om de taken zo snel en goedkoop mogelijk uit te voeren of vindt men de tevredenheid van de werknemers ook belangrijk? Iedere toewijzingsmethode heeft voor- en nadelen. Bovendien is er niet één toewijzingsmethode die altijd het best presteert. Daarom wordt er aangeraden om meerdere toewijzingsmethodes uit te testen en te vergelijken op basis van bepaalde performantiemaatstaven (Campbell & Wu, 2007).

De toewijzingsmethodes kunnen tot slot ook ingedeeld worden op basis van de oplossingsmethode die gehanteerd wordt. Oplossingsmethodes worden opgesplitst in twee categorieën: **optimalisatie en simulatie**. Bij optimalisatie veronderstelt men dat alle gebruikte data correct is (deterministische benadering). Bij simulatie houdt men rekening met de variabiliteit en onzekerheid van de gebruikte data (stochastische benadering). Beiden kunnen nog verder opgesplitst worden in **exacte en heuristische oplossingsmethodes**. Exacte oplossingsmethodes leveren altijd de optimale oplossing op, bij heuristische oplossingsmethodes is dit niet het geval. Deze leveren een goede, maar niet noodzakelijk optimale oplossing. Zoals reeds vermeld werd, hangt de meest geschikte oplossingsmethode af van het specifieke probleem en het doel van het onderzoek. De lezer die wat meer informatie wenst over optimalisatie en simulatie kan terecht in bijlage C Oplossingsmethodes voor personeelsplanningsproblemen. In deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7 Toewijzing van werknemers aan taken zullen verschillende toewijzingsmethodes getest worden op basis van simulatie.

4.2 Priority rules

Er bestaan heel wat exacte en heuristische oplossingsmethodes om het task allocation probleem op te lossen (Ernst *et al.*, 2006; Page *et al.*, 2010). Deze oplossingsmethodes zijn in staat om optimale of bijna-optimale oplossingen te genereren. Wanneer de grootte van het probleem echter toeneemt, zal ook de benodigde computertijd om een oplossing te vinden toenemen. In de praktijk worden daarom vaak **priority rules** gebruikt (Sels *et al.*, 2012). Ondanks het feit dat deze rules geen betere oplossing opleveren dan deze van exacte en heuristische oplos-

singsmethodes worden ze vaak gebruikt omdat deze rules **éénvoudig te implementeren & weinig complex** zijn (Ho & Tay, 2005). Bovendien kan er **in een beperkt tijdsbestek een goede oplossing bekomen** worden (Ho & Tay, 2005).

Bij het **task allocation probleem** dat in deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7 behandeld wordt, is er een initiële takenset van bijvoorbeeld 1000 taken die door de beschikbare werknemers zo snel mogelijk uitgevoerd moeten worden. Alle taken kunnen reeds vanaf tijdstip 0 uitgevoerd worden. Op ieder tijdstip t wordt er een taak geselecteerd via een bepaalde priority rule. Vervolgens wordt een bepaalde toewijzingsmethode toegepast om een werknemer te selecteren die deze taak zal uitvoeren. Dit gebeurt ook via priority rules. Deze actie wordt op ieder tijdstip t herhaald totdat alle taken uitgevoerd werden. Een uitgebreide beschrijving met visuele representatie van deze methodiek is beschikbaar in deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7, sectie 7.1.1 Basisalgoritme.

In deze sectie zullen we de gebruikte priority rules introduceren. Niet alle priority rules die in deze sectie aan bod komen, worden effectief getest in deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7. De toepasbaarheid en performantie van de priority rules hangt immers af van het specifieke probleem. In sectie 4.2.1 worden de priority rules voor het selecteren van taken besproken. Sectie 4.2.2 behandelt de priority rules voor het selecteren van werknemers.

4.2.1 Priority rules voor het selecteren van taken

Er zijn heel wat priority rules beschikbaar om de volgorde waarin taken uitgevoerd worden te bepalen. Deze priority rules kunnen bovendien nog eens met elkaar gecombineerd worden, waardoor de mogelijkheden verder toenemen. Hier zullen we enkel een kort overzicht geven van enkele éénvoudig te hanteren rules. De lezer die geïnteresseerd is in een meer volledig overzicht wordt doorverwezen naar het werk van Sels *et al.* (2012). In dit werk worden 30 priority rules + combinaties van deze priority rules met elkaar vergeleken.

Om de werking van de rules te illustreren, zullen we een éénvoudig voorbeeld gebruiken waarbij 1 werknemer 5 taken moet uitvoeren². Tabel 4.1 toont een overzicht van deze taken

²Dit voorbeeld is gebaseerd op een voorbeeld uit de cursus Applied Operations Research (Vanhoucke, 2015a), pagina 106.

met een aantal parameters. De **processing time** (p_j ³) is de benodigde tijd om een taak uit te voeren (Vb. 8 minuten voor taak 1). De **ready time** (r_j) is het tijdstip waarop de taak kan beginnen. Taak 2 kan bijvoorbeeld pas na 3 minuten beginnen. **Due date** (d_j) is het tijdstip waarop de taak zeker afgerond zou moeten zijn. Dit zijn bepaalde deadlines die opgesteld worden voor het uitvoeren van de taken. Tot slot wordt ook de **slack** (s_j) weergegeven. Dit is een maatstaf voor de speling die je hebt om de taak in te plannen. Hoe groter de slack, hoe meer speling er is om de taak in te plannen zodat ze op tijd afgewerkt is. Slack wordt berekend op basis van volgende formule: $s_j = d_j - (r_j + p_j)$.

Taak (j)	Processing time (p_j)	Ready time (r_j)	Due date (d_j)	Slack (s_j)
1	8	1	9	0
2	2	3	19	14
3	5	2	8	1
4	3	0	10	7
5	1	4	14	9

Tabel 4.1: Overzicht uit te voeren taken

Nu zullen we vijf éénvoudige priority rules uittesten. De **priority rules** zijn:

- **EDD**: schedule earliest due date first. De taken worden ingepland op basis van hun due date (van klein naar groot).
- **ERT**: schedule earliest ready time first. De taken worden ingepland op basis van hun ready time (van klein naar groot).
- **SPT**: schedule shortest processing time first. De taken worden ingepland op basis van hun processing time (van klein naar groot).
- **LPT**: schedule longest processing time first. De taken worden ingepland op basis van hun processing time (van groot naar klein).
- **MS**: schedule minimum slack first. De taken worden ingepland op basis van hun slack (van klein naar groot).

³ p_j stelt de processing time van taak j voor. p_1 , de processing time van taak 1, is bijvoorbeeld 8.

Om te kunnen bepalen welke priority rule nu het beste resultaat oplevert in een bepaalde situatie heb je natuurlijk **performantiestaven** nodig. We zullen er vijf bespreken. Deze performantiestaven kunnen ingedeeld worden in 2 groepen: ofwel zijn ze gebaseerd op de **eindtijd (flow-time)** ofwel op de **laattijdigheid (tardiness)** van de uitgevoerde taken. In ons voorbeeld wordt de eindtijd van een taak (C_j) bepaald door de eindtijd van de vorige taak (C_{j-1}) en de processing time van taak j (p_j) ($C_j = C_{j-1} + p_j$). De laattijdigheid van een taak j wordt bepaald door de eindtijd (C_j) te vergelijken met de due date (d_j) ($T_j = \max(0, C_j - d_j)$). Tot slot wordt U_j gebruikt als variabele om aan te tonen of de taak op tijd werd uitgevoerd of niet ($U_j = 1$ als $T_j > 0$). De gebruikte performantiestaven zijn:

- C_{max} : $\max C_j$, de eindtijd van de laatst afgewerkte taak.
- $\sum C_j$: De som van de eindtijden van alle taken.
- T_{max} : $\max T_j$, de laattijdigheid van de taak met de grootste laattijdigheid.
- $\sum T_j$: De som van de laattijdigheid van alle taken.
- $\sum U_j$: De som van alle taken die niet op tijd werden uitgevoerd.

De performantiemaatstaf die bij de experimenten in hoofdstuk 7 (zie deel 2 Praktijkstudie) gebruikt zal worden is C_{max} . Het is u misschien reeds opgevallen dat alle performantiestaven die in deze sectie behandeld werden tijdsgerelateerd zijn. Er kunnen echter ook nog andere, niet-tijdsgerelateerde performantiestaven gebruikt worden. Een voorbeeld hiervan is de **bezettingsgraad (capacity utilization)**. De bezettingsgraad geeft weer in welke mate de beschikbare capaciteit, in dit geval de beschikbare werknemers, in de realiteit gebruikt wordt (Madden, K. and Martin, K., 2009). Een lage bezettingsgraad wijst erop dat de beschikbare werknemers slechts gedurende een beperkte hoeveelheid van de beschikbare tijd taken aan het uitvoeren zijn. Er zijn dus eigenlijk te veel werknemers voor de uit te voeren taken. Een zeer hoge bezettingsgraad is echter ook niet altijd optimaal. Dit kan immers leiden tot een te hoge werkdruk. Bovendien is er bij een zeer grote bezettingsgraad geen buffer aanwezig om onverwachte gebeurtenissen vb. extra taken, taken die langer duren dan verwacht, ... op te vangen. De werkgever moet dus een bepaalde bezettingsgraad bepalen die niet te laag, maar ook niet te hoog is. Voor meer informatie over het bepalen van de optimale bezettingsgraad verwijzen we u door naar het werk van Madden, K. and Martin, K. (2009).

In tabel 4.2 werden de priority rules toegepast voor de vijf taken uit tabel 4.1 (zie 2de kolom: Volgorde). In dit voorbeeld leidt iedere priority rule tot een andere taakvolgorde. De performantie zal dan ook niet hetzelfde zijn. In de laatste vijf kolommen werden de performantiestaven berekend voor iedere priority rule. De waarde van de priority rule(s) die het best scoort op een bepaalde performantiemaatstaf werd in het vet gezet. Zo zien we dat de taken het snelst uitgevoerd werden, wanneer de ERT priority rule toegepast werd (C_{max} is het kleinst van alle priority rules). Wanneer men het aantal taken dat niet op tijd werd uitgevoerd, wil beperken, presteert de SPT priority rule het best. Dit éénvoudige voorbeeld laat duidelijk zien dat er **geen enkele priority rule is die op alle performantiestaven** het best scoort. Er zal dus een bepaalde **trade-off** moeten gebeuren bij de keuze van een priority rule. Zoals reeds vermeld werd, kunnen priority rules ook gecombineerd worden. De priority rules die, naast willekeurige selectie, in deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7 toegepast zullen worden, zijn de SPT en LPT priority rules. De EDD, ERT en MS priority rules zijn niet toepasbaar voor het task allocation probleem dat in hoofdstuk 7 behandeld wordt. Alle taken kunnen immers vanaf tijdstip 0 uitgevoerd worden ($r_j = 0$) en er worden geen deadlines opgelegd.

Priority rule	Volgorde	C_{max}	$\sum C_j$	T_{max}	$\sum T_j$	$\sum U_j$
EDD	3-1-4-5-2	21	80	8	21	4
ERT	4-1-3-2-5	19	67	8	15	3
SPT	5-2-4-3-1	23	60	14	21	2
LPT	1-3-4-2-5	20	79	7	19	3
MS	1-3-4-5-2	20	78	7	18	4

Tabel 4.2: Overzicht toegepaste priority rules en bijbehorende performantiemaatstaven

4.2.2 Priority rules voor het selecteren van werknemers

Meestal bestaat een bedrijf uit meerdere werknemers die bepaalde taken kunnen uitvoeren. Ook om te bepalen welke werknemers welke taken moeten uitvoeren, kunnen bepaalde priority rules gebruikt worden. In de literatuur worden er heel wat priority rules besproken die hiervoor toegepast kunnen worden (Campbell & Wu, 2007; Eiselt & Marianov, 2008; Ballard *et al.*, 2010). Enkele hiervan zullen we hier kort oplijsten.

- **First-come-first-serve:** De werknemer die het eerst beschikbaar is, voert de volgende taak van de lijst uit. Indien er meerdere werknemers beschikbaar zijn, wordt er willekeurig één van deze werknemers toegewezen.
- **Best-fit:** Er wordt gezocht naar de meest geschikte werknemer om de taak uit te voeren. Dit kan bijvoorbeeld door te kijken naar het vaardigheidsniveau van de werknemers. Campbell & Wu (2007) wijzen aan elke werknemer een getal tussen 0 en 1 toe dat hun vaardigheidsniveau moet voorstellen. Werknemers kunnen enkel taken uitvoeren waarvoor hun vaardigheidsniveau hoger ligt dan de moeilijkheid van de taak. Vervolgens wordt de werknemer waarvan het verschil tussen zijn/haar vaardigheidsniveau en de moeilijkheid van de taak het kleinst is, aan de taak toegewezen. Zo realiseert men de beste *fit* tussen taak en werknemer. Eiselt & Marianov (2008) passen een gelijkaardige werkwijze toe, maar zij gebruiken categorieën om het vaardigheidsniveau van de werknemers aan te duiden.
- **Load balancing:** Bij load balancing worden de taken verdeeld onder de werknemers, zodanig dat de werkdruk voor iedere werknemer ongeveer gelijk is. Een faire verdeling van de taken, wordt gezien als een belangrijke beïnvloedende factor voor de tevredenheid van de werknemers (Ballard *et al.*, 2010).
- **Shortest processing time:** Wanneer het uitvoeren van een bepaalde taak niet even snel gebeurt door alle werknemers, is het interessant om de taak te laten uitvoeren door de snelste werknemer. De SPT priority rule wijst een taak dan ook toe aan de werknemer die de taak het snelst kan uitvoeren van alle beschikbare werknemers.
- **Minimize employee-task distance:** Wanneer niet alle taken op dezelfde plaats uitgevoerd moeten worden, kan het belangrijk zijn om rekening te houden met de locatie van de taak en de werknemer. Bij de minimize employee-task distance priority rule wordt de werknemer die zich het dichtst bij de uit te voeren taak bevindt aan deze taak toegewezen. Zo wordt er vermeden dat er (veel) tijd verloren gaat doordat werknemers zich moeten verplaatsen.

De priority rules die in deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7 toegepast zullen worden, zijn de first-come-first-serve en de best-fit methode. Er zullen ook een aantal varianten op deze methodes uitgewerkt worden.

4.3 Leerproces van de werknemers bij het uitvoeren van taken

“Leren” (*learning*) wordt in de literatuur vaak gedefinieerd als **de verandering van gedrag die het resultaat is van ervaring** (De Houwer *et al.*, 2013). De theorie rond het leerproces focust zich vooral op de cognitieve ontwikkeling tijdens de schoolopleiding (Jensen, 2005). Het leerproces treedt echter ook vaak op in het alledaagse leven. Wanneer je bijvoorbeeld om 18u naar de supermarkt gaat, zal je merken dat je lang moet aanschuiven aan de kassa (= de ervaring). Op basis van deze ervaring is de kans groot dat je de volgende keer, indien mogelijk, op een ander tijdstip gaat winkelen (= verandering van gedrag). Je hebt geleerd dat het 's avonds druk is in de supermarkt en dat je bijvoorbeeld beter tijdens de namiddag gaat winkelen als je niet te lang wilt aanschuiven aan de kassa.

Ook tijdens het uitvoeren van taken door werknemers kan er geleerd worden. Er zijn **verschillende manieren om dit leerproces te definiëren**. Men kan het leerproces bijvoorbeeld zien als een **functie van de tijd** (Fredrick & Walberg, 1980). Hoe langer men een bepaalde taak uitvoert, hoe beter men de taak kan uitvoeren. Deze verbetering kan zich uiten in betere kwaliteit, snellere uitvoering, . . . Het leerproces kan ook gezien worden als een **functie van het aantal taken** dat de werknemer heeft uitgevoerd (Zollo & S.G., 2002). De capaciteiten van de werknemer verbeteren dan door meer taken uit te voeren. De benadering van het leerproces die tijdens de experimenten in hoofdstuk 7 van deel 2 Praktijkstudie gebruikt wordt, werd overgenomen uit het onderzoek van Campbell & Wu (2007). **Hierbij leren de werknemers wanneer ze een bepaalde taak niet kunnen uitvoeren**. Deze benadering is minder courant en wordt hier dan ook verder gespecificeerd. Initieel gaan we ervan uit dat de werknemers hun eigen vaardigheidsniveau niet kennen en denken dat ze alle taken kunnen uitvoeren. Bij de taaktoewijzing, die gebeurt op basis van het verwachte vaardigheidsniveau van de werknemers, kunnen werknemers echter toegewezen worden aan taken die te moeilijk zijn voor hen. Wanneer dit gebeurt, kan de werknemer de taak niet uitvoeren en zal hij zijn verwachte vaardigheidsniveau laten zakken. Dit verwachte vaardigheidsniveau komt zo dichterbij zijn werkelijke vaardigheidsniveau te liggen. De werknemer heeft geleerd. Dankzij dit leerproces zal het verwachte vaardigheidsniveau van de werknemer steeds dichterbij zijn werkelijke vaardigheidsniveau komen te liggen en wordt de kans dat hij aan een te moeilijke taak wordt toegewezen sterk gereduceerd. Het werkelijke vaardigheidsniveau van de werkne-

mers blijft constant. Dit stijgt dus niet in functie van de tijd of het aantal uitgevoerde taken. Een uitgebreidere beschrijving van het gebruikte leerproces tijdens de experimenten volgt in deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7, sectie 7.1.1 Basisalgoritme.

Bij het traditionele leerproces stijgt het vaardigheidsniveau van de werknemers (Zollo & S.G., 2002). Deze stijging van het vaardigheidsniveau kan verschillende gevolgen hebben. Werknemers met een hoger vaardigheidsniveau kunnen bijvoorbeeld **moeilijkere taken uitvoeren** (i.e. invloed op het aantal taken dat de werknemer kan uitvoeren). In sommige situaties kunnen werknemers met een hoog vaardigheidsniveau **een bepaalde taak sneller uitvoeren** dan werknemers met een lager vaardigheidsniveau (i.e. invloed op de duurtijd van de taak). Sommige onderzoeken behandelen ook **het negatieve leerproces i.e. “vergeten”** (*forgetting*) (Thomassen, A., 2000). Hierbij gaat het vaardigheidsniveau van de werknemer terug achteruit wanneer hij bepaalde taken lange tijd niet meer kan uitvoeren bijvoorbeeld door ziekte. De effecten van “leren” en “vergeten” worden vaak gekwantificeerd via **leer- en vergeetcurves** (Thomassen, A., 2000).

Het vaardigheidsniveau van de werknemers kan op verschillende manieren gedefinieerd worden. Bij een **hiërarchische definitie** kunnen werknemers met een hoog vaardigheidsniveau alle taken van werknemers met een lager vaardigheidsniveau plus een aantal extra taken uitvoeren (Beliën *et al.*, 2013). Bij een **vaste definitie** vereist een bepaalde taak X vaardigheid Y en kunnen enkel werknemers met vaardigheid Y taak X uitvoeren (Beliën *et al.*, 2013). In de experimenten die in hoofdstuk 7 van deel 2 Praktijkstudie uitgevoerd worden, wordt gebruik gemaakt van een hiërarchische definitie van vaardigheden. Iedere taak heeft een bepaalde moeilijkheid (aangeduid met een waarde tussen 0,0 en 0,9) en enkel werknemers met een vaardigheidsniveau dat hoger is dan de moeilijkheid van de taak kunnen deze taak uitvoeren.

Tot slot heb je als werkgever twee mogelijkheden: werknemers steeds dezelfde taak laten uitvoeren of werknemers veel verschillende taken laten uitvoeren (De Varo & Gurtler, 2016). In het eerste geval creëer je **gespecialiseerde werknemers**. Doordat werknemers een specifieke taak zeer veel uitvoeren, worden ze er immers zeer bedreven in. In het tweede geval creëer je **cross-trained werknemers**. Deze werknemers kunnen zeer diverse taken uitvoeren. In de experimenten die in hoofdstuk 7 van deel 2 Praktijkstudie uitgevoerd worden, kunnen alle werknemers aan alle taken toegewezen worden (i.e. het zijn *cross-trained* werknemers).

Hoofdstuk 5

Research-application gap

In sectie 3.1 van hoofdstuk 3 Personeelsplanning in de retailsector werd het belang van een goede personeelsplanning duidelijk aangetoond. De grote hoeveelheid beschikbare papers rond personeelsplanning tonen aan dat onderzoekers dit beseffen¹. Er werden reeds heel wat (mathematische) modellen, algoritmes, ... opgesteld om personeelsplanningsproblemen zo efficiënt mogelijk op te lossen (Van den Bergh *et al.*, 2013). In dit hoofdstuk stellen we ons de vraag of deze (theoretische) modellen vaak toegepast worden in de praktijk.

We kunnen hier reeds vermelden dat er (empirisch) bewijs is voor het bestaan van een **research-application gap**. Hiermee wordt bedoeld dat de algoritmes die door onderzoekers ontwikkeld worden om personeelsplanningsproblemen op te lossen, in de praktijk slechts in zeer beperkte mate toegepast worden (Van den Bergh *et al.*, 2013). Tijdens de vergelijkende studie van de beschikbare literatuur rond personeelsplanningsproblemen in de retailsector (zie hoofdstuk 3, sectie 3.2.2 Personeelsplanning in de retailsector) stelden we vast dat enkel het werk van (Mirrazavi & Beringer, 2007) in de praktijk werd toegepast. Dit is slechts één van de zes bestudeerde papers. Deze vaststelling is een indicatie voor het bestaan van een reasearch-application gap. Ook tijdens de praktijkstudie bij Delhaize Watersportbaan (zie deel 2 Praktijkstudie, hoofdstukken 6 en 7) merkten we dat het opstellen van de personeelsplanning niet volledig automatisch gebeurt via een softwareprogramma dat gebaseerd is op de beschikbare theoretische kennis. Men maakt wel gebruik van bepaalde softwareprogramma's,

¹Zoals in hoofdstuk 3, sectie 3.2 Overzicht literatuur reeds vermeld werd, is het wel belangrijk te weten dat dit onderzoek vooral uitgevoerd werd in de transportsector (luchtvaart, treinen, metro's, ...) en de servicesector (ziekenhuizen, callcenters, ...) en dat het onderzoek binnen de retailsector eerder beperkt is.

maar er moeten nog heel wat manuele aanpassingen (met pen & papier) gedaan worden. Omdat we tijdens het schrijven van deze masterproef meermaals met de research-application gap geconfronteerd werden, hebben we besloten om dit fenomeen van naderbij te bestuderen.

In sectie 5.1 van dit hoofdstuk zullen we een aantal papers bespreken die deze research-application gap onderzocht hebben. Hierbij gaan we op zoek naar de **onderliggende oorzaken** van het bestaan van de research-application gap en bespreken we **mogelijke oplossingen**. We hebben ook eigen empirisch onderzoek gedaan naar het bestaan van de research-application-gap bij retailbedrijven (zie deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 8).

5.1 Overzicht literatuur

In hun overzichtspaper kwamen Van den Bergh *et al.* (2013) tot de conclusie dat wiskundige modellen voor personeelsplanningsproblemen vooral een sterke theoretische impact hebben, maar in de praktijk slechts zelden gebruikt worden. Bij hun studie kwamen ze tot de constatactie dat slechts bij 46 van de 291 onderzochte papers (dit is ongeveer 16%) het theoretisch model in de praktijk toegepast werd.

Volgens hen gebruiken onderzoekers vaak een **te nauwe, restrictieve probleemomschrijving** die onvoldoende overeenstemt met de werkelijkheid. Hierdoor is het zeer moeilijk om het personeelsplanningsprobleem te integreren met andere planningsproblemen (vb. de planning van machines) binnen het bedrijf. In de realiteit interageren deze planningsproblemen immers continu met elkaar. Een andere reden is het **gebrek aan opname van onzekerheid** in het model. De meeste onderzoekers houden geen/onvoldoende rekening met de effecten van afgeschafte taken, onbeschikbare werknemers, verhoogde werkbelasting, ... Deze gebeurtenissen hebben nochtans een grote invloed op de kwaliteit van de voorgestelde oplossing(en). Stochastische methodes kunnen hier een oplossing bieden. Tot slot zouden onderzoekers de **robuustheid** van hun oplossing(en) moeten testen met behulp van simulaties (zie bijlage C, sectie C.2 Simulatie). Dit gebeurt te weinig. De robuustheid van een oplossing is nochtans zeer belangrijk. In de realiteit zullen de zaken immers nooit verlopen zoals voorspeld werd. Managers zijn daarom niet noodzakelijk op zoek naar een optimale oplossing, maar wel naar een robuuste oplossing.

Verder vermelden Van den Bergh *et al.* (2013) dat het gebrek aan implementatie van theoretische modellen niet altijd veroorzaakt wordt door de werkwijze van de onderzoekers. Soms is het gewoon **zeer moeilijk om het gevonden algoritme te integreren met het bestaande softwaresysteem van het bedrijf**. Om dit probleem te vermijden is het belangrijk dat de onderzoeker zijn algoritme zo éénvoudig mogelijk formuleert en dat het bedrijf over een gepast softwaresysteem beschikt.

In 2007 publiceerden Kellogg & Walczak de resultaten van hun grootschalige bevraging, waarbij onderzocht werd of de vele algoritmes voor het oplossen van personeelsplanningsproblemen in de praktijk gebruikt worden. De bevraging werd uitgevoerd bij Amerikaanse ziekenhuizen, gedurende de periode 1985-2005. Uit hun onderzoek bleek dat slechts 38% van de systemen die behandeld worden in onderzoekspapers uitgetest/gebruikt worden in de praktijk. Verder constateerden ze dat de academische betrokkenheid bij softwaresystemen voor het opstellen van een personeelsplanning die door private bedrijven aangeboden worden, zeer beperkt is. Bovendien gebruikt slechts 30% van de ziekenhuizen een specifiek softwaresysteem om hun personeel in te plannen. Deze vaststellingen vormen extra bewijs voor het bestaan van de research-application gap. De belangrijkste oorzaken zijn volgens Kellogg & Walczak (2007): **te nauwe focus** van vele onderzoekers, **gebrek aan klantondersteuning** die door de academische wereld aangeboden wordt, de **beschikbaarheid van commerciële software** en de **algemene weerstand tegen innovatie**.

Vanden Berghe (2012) geeft een aantal tips aan onderzoekers zodat hun werk gemakkelijker toegepast kan worden in de praktijk. Eén van de grote uitdagingen is volgens hem de **link tussen personeelsplanningsproblemen en andere planningsproblemen** (zoals *task scheduling, vehicle routing, ...*). De meeste onderzoekers gaan op zoek naar snellere en betere optimaliseringsalgoritmes voor een specifiek optimalisatieprobleem, terwijl er meer gefocust zou moeten worden op de invloeden van andere (plannings)problemen op de personeelsplanning. In de praktijk is het personeelsplanningsprobleem immers geen geïsoleerd probleem.

Het onderzoek van De Causmaecker *et al.* (2004), waarbij een grondige analyse gemaakt werd van *real-world* personeelsplanningsproblemen, toonde aan dat er een grote research-application gap bestaat. Ze concludeerden dat er op dat moment geen ondersteuning was voor

een volledig geautomatiseerde planning bij de bedrijven. De meeste bedrijven prefereerden om de **personeelsplanning handmatig of met behulp van Excel** op te stellen. Nochtans zijn de meeste reële planningsproblemen te complex om met Excel opgelost te worden. Sommige van de ondervraagde bedrijven gebruiken **zelfontwikkelde planningssoftware**. Het grootste nadeel dat hierbij geconstateerd werd, is het gebrek aan flexibiliteit om verschillende soorten planningsproblemen op te lossen. Volgens De Causmaecker *et al.* (2004) wordt er ook te weinig gebruik gemaakt van de mogelijkheid om personeel over verschillende afdelingen heen te plannen. Hierbij kunnen werknemers uit een afdeling waar er personeel te veel is, bijspringen in een afdeling waar er personeel te weinig is. De belangrijkste oorzaak hiervoor is volgens de auteurs een **gebrek aan performantiemaatstaven**. Veel bedrijven slagen er niet in om de werkoverbelasting nauwkeurig in kaart te brengen.

Beliën *et al.* (2013) deden een online bevraging bij 123 Belgische productieondernemingen. Hierbij werd onderzocht welke planning tools door deze ondernemingen gebruikt worden en wat de belangrijkste beïnvloedende factoren zijn. Hun empirisch onderzoek bevestigde het bestaan van de research-application gap. **Spreadsheets zoals Excel zijn duidelijk de meest populaire planning tool bij Belgische productieondernemingen**. 53% van de ondervraagde bedrijven gaf aan enkel Excel te gebruiken voor het opstellen van de personeelsplanning (26% gebruikte andere planningssoftware en 21% stelde de planning met behulp van pen & papier op). Het onderzoek van Beliën *et al.* (2013) werd als referentiepunt gebruikt bij ons eigen empirisch onderzoek (zie deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 8).

Ook het onderzoek van Berglund & Karlton (2007) haalt het **negeren van bepaalde bronnen van onzekerheid** aan als één van de belangrijkste oorzaken van de research-application gap. Onderzoekers zouden volgens hen moeten focussen op proactieve en reactieve algoritmes die rekening houden met onzekerheid in plaats van te werken aan snellere algoritmes. Andere redenen die aangehaald worden voor het feit dat spreadsheets populairder zijn dan gespecialiseerde planningssoftware zijn: **beperkte compatibiliteit met andere systemen, de planningssoftware is te complex en het feit dat men niet over de nodige data beschikt om gespecialiseerde planningssoftware te kunnen gebruiken** (Berglund & Karlton, 2007).

VanLancker & Wullaert (2012) onderzochten in hun thesis waarom bedrijven zo moeilijk hun personeelsplanningsproces gaan automatiseren, terwijl er toch heel wat verschillende softwarepakketten voor het effectief en efficiënt inplannen van personeel op de markt zijn. Hun onderzoek toonde aan dat de beschikbare software vooral te kort schiet op het vlak van **flexibiliteit, rapporteringsmogelijkheden en simulatiemogelijkheden**. Daarnaast identificeerden ze ook bepaalde problemen bij de bedrijven zelf die ervoor zorgen dat de beschikbare software niet op een optimale manier gebruikt kan worden. Zo werken heel wat bedrijven met vaste contracten, waardoor het moeilijk is om de bezetting te minimaliseren. Verder wijzen ze op het feit dat het implementatieproces van planningssoftware tijdrovend en bijgevolg vrij duur is. De kostprijs van de software zelf kan ook vrij hoog zijn. Daarom moet ieder bedrijf volgens hen de voordelen van automatisatie afwegen tegen de kostprijs ervan.

Bovenstaand onderzoek heeft het bestaan van de research-application gap bij personeelsplanningsproblemen duidelijk aangetoond. Voor zover wij weten, is er echter nog geen onderzoek uitgevoerd dat zich specifiek op de retailsector richt. Vandaar dat we in deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 8 Research-application gap bij retailbedrijven eigen onderzoek gedaan hebben naar het gebruik van planning tools en het voorkomen van de research-application gap bij retailbedrijven.

Deel II

Praktijkstudie

Hoofdstuk 6

Voorstelling Delhaize Watersportbaan

Het praktische luik over de toewijzing van werknemers aan taken (zie hoofdstuk 7) werd uitgevoerd in samenwerking met **Delhaize Watersportbaan**. Delhaize Watersportbaan is een supermarkt en behoort dus tot de food retailers¹. Delhaize Watersportbaan is eigendom van de Delhaize Groep. De **Delhaize Groep** is één van de grootste spelers op de Belgische food retailmarkt. De lezer die meer informatie wenst over de Delhaize Groep, wordt doorverwezen naar bijlage D. In deze bijlage is er informatie beschikbaar met betrekking tot de geschiedenis (zie sectie D.1), de managementstructuur (zie sectie D.2), de winkelconcepten (zie sectie D.3), de concurrentie in België (zie sectie D.4) en enkele interessante feiten & cijfers (zie sectie D.5).

In dit hoofdstuk wordt Delhaize Watersportbaan voorgesteld. De informatie die hier verschaft wordt, zal ervoor zorgen dat de lezer de experimenten die op de data van Delhaize Watersportbaan werden uitgevoerd (zie hoofdstuk 7, sectie 7.2.2) vlot zal kunnen volgen. In sectie 6.1 worden een aantal **basisgegevens**, zoals het aantal (voltijdse/deeltijdse) werknemers, het aantal afdelingen, ... opgelijst. In sectie 6.2 wordt de **huidige werkwijze voor het opstellen van de personeelsplanning** bij Delhaize Watersportbaan besproken. Dit proces wordt stap per stap uitgelegd (zie sectie 6.2.1), waarna de problemen van het huidige systeem besproken worden (zie sectie 6.2.2). In hoofdstuk 7 wordt er gefocust op het proces waarbij werknemers aan taken toegewezen worden. In sectie 6.3 wordt deze **keuze toegelicht**.

¹Indeling retailsector: zie deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 2 De retailsector, sectie 2.1 Definitie.

6.1 Basisgegevens Delhaize Watersportbaan

Delhaize Watersportbaan is gevestigd in de Jubileumlaan 15 te Gent. Het is een **Delhaize supermarkt** die door de Delhaize Groep zelf wordt uitgebaat². De winkel is open van maandag tot en met zaterdag van 8u tot 20u (21u op vrijdag) en is gesloten op zondag. In deze vestiging werken momenteel 124 werknemers, 35 voltijdse (36 uur per week) en 89 deeltijdse (18-32 uur per week). Deze cijfers bevestigen dat, zoals reeds eerder vermeld werd, er in de retailsector in ruime mate gebruik gemaakt wordt van deeltijdse werknemers. De huidige directeur is Bart Kindermans³. De winkel heeft een verkoopoppervlakte van circa 2300 m² en voorziet in quasi alle levensmiddelen. Zowel studenten als de “gewone” Gentenaren komen hier hun boodschappen doen. Het aantal klanten piekt typisch over de middag en ’s avonds. Op zaterdag wordt ongeveer 25% van de omzet gedraaid, daarmee is het de drukste dag van de week.

De winkel bestaat uit **6 afdelingen**, die verder onderverdeeld worden in normclusters. Tabel 6.1 geeft een overzicht⁴. Iedere werknemer werkt op een bepaalde afdeling en iedere afdeling heeft zijn eigen afdelingshoofd. Deze persoon speelt een belangrijke rol bij het opstellen van de personeelsplanning (zie sectie 6.2 Huidige manier opstellen personeelsplanning). De focus ligt hoofdzakelijk op kwaliteit en versheid (verse groenten en fruit, geïntegreerde beenhouwerij, viswinkel en bakkerij, ...). Er zijn 10 gewone kassa’s, 5 quickscans en 2 kassa’s voor selfscanning. Bij **selfscanning** neemt de klant een scanner bij het binnengaan van de winkel (er zijn 105 selfscans beschikbaar), scant zijn producten wanneer hij deze in zijn kar legt en geeft de scanner af aan de kassierster waarna hij/zij betaalt. Bij **quickscanning** scant de klant zijn producten zelf in een apart voorziene kassaruumte. Dit systeem is vooral gericht op klanten met een beperkte hoeveelheid boodschappen. Verder zijn alle kassa’s voorzien van een **automatisch teruggavesysteem**. Hierbij steekt de klant het geld in een machine, waarna deze machine het wisselgeld teruggeeft. Het grote voordeel hiervan is dat dit sneller verloopt

²Voor meer uitleg over de verschillende winkelformules van de Delhaize Groep: zie bijlage D, sectie D.3 Winkelconcepten.

³Bart Kindermans nam deze functie op 1 januari 2016 over van Barbara De Brouwer. Gedurende dit thesisonderzoek waren er dus 2 verschillende directeurs die de leiding hadden over Delhaize Watersportbaan. Vandaar dat er in deze thesis soms verwezen wordt naar de directrice (i.e. Barbara De Brouwer) en soms naar de directeur (i.e. Bart Kindermans).

⁴HBC: houdbaarheidscontrole, VVP: voorverpakt.

dan wanneer de kassierster dit moet doen en dat de kans op fouten sterk gereduceerd wordt. Het gebruik van bovenvermelde systemen wijst erop dat men probeert om het **winkelproces zo efficiënt mogelijk te laten verlopen**.

Center store	Fruit & Groenten	Zuivel, charcuterie & diepvries
Voeding	Fruit & Groenten VVP	Diepvries
Leeggoed	Fruit & Groenten bulk	Zuivel
Drogisterij		Kaas VVP
Dranken		Charcuterie VVP
Vensafe, Tabak & Verkoop Kassa		
HBC		
Beenhouwerij/Vis	Bakkerij & bereide maaltijden	Front end
Vlees VVP	Bereide schotels	Kassa
Vlees in-store	Traiteur in-store	Kantoor
Gevogelte VVP	Traiteur VVP	Onthaal - Diensten
Vis in-store	Bakkerij VVP	
Vis VVP	Bakkerij in-store	

Tabel 6.1: Overzicht afdelingen Delhaize Watersportbaan

6.2 Huidige manier opstellen personeelsplanning

Delhaize Watersportbaan gebruikt momenteel een vrij ingewikkeld systeem waarbij **meerdere softwareprogramma's** (DNA, SAP en Timesquare) met elkaar communiceren om tot een “optimale” personeelsplanning voor één week te komen. Het hele personeelsplanningsproces wordt dus **wekelijks** herhaald. Belangrijk om weten is dat het systeem enkel personeelsleden toewijst aan een bepaalde afdeling. Het effectief toewijzen van taken aan personeelsleden gebeurt door de afdelingshoofden. Het gebruik van dit systeem wordt hen opgelegd vanuit de Delhaize Groep. Hieronder zullen we een overzicht geven van de **werking van het huidige systeem** (zie sectie 6.2.1), zodat de lezer een duidelijk beeld krijgt van het personeelsplanningsproces bij Delhaize Watersportbaan. Verder vermelden we de **problemen** die bij het gebruik van het huidige systeem optreden (zie sectie 6.2.2).

6.2.1 Overzicht van de verschillende stappen

Figuur 6.1 geeft een duidelijk overzicht van de manier waarop de personeelsplanning momenteel wordt opgesteld bij Delhaize Watersportbaan. Bij iedere stap wordt het gebruikte softwaresysteem, de verantwoordelijke werknemer en de deadline vermeld. Het grote aantal stappen wijst erop dat het opstellen van de personeelsplanning een **tijdrovend proces** is. We zullen de verschillende stappen overlopen en verduidelijken.

STAP	WAT ?	SYSTEEM ?	WIE ?	WANNEER ? (Ten laatste op)
1	De norm per dag berekenen en printen: - Forecast - Verdeling van de beschikbare uren per normcluster - Verdeling van de beschikbare uren per taak	DNA	Directeur	Vrijdag (Week -1)
2	Aanpassen van de toewijzing van de verdelingsmodellen in geval van een speciale week	Timesquare Module Berekening	Directeur	
3	Doorgeven van specifieke randvoorwaarden van de week aan het bureau		Afdelingshoofd	
4	Valideren van het werkvolume	Timesquare Module Berekening	Directeur	Zaterdag (Week -1)
5	Invoeren van de specifieke randvoorwaarden	Timesquare Module Uurroosters	Chef/ Assistent Front End	Woensdag
6	Aantal uren controleren van de personen die met verlof zijn	Timesquare Module Uurroosters	Chef/ Assistent Front End	
7	Het uurrooster berekenen en de illegaliteiten corrigeren	Timesquare Module Uurroosters	Chef/ Assistent Front End	
8	Het uurroostervoorstel en de grafieken i.v.m. de bezetting van het werkvolume printen	Timesquare Module Afdrukken	Chef/ Assistent Front End	
9	Het uurroostervoorstel en de bezetting van het werkvolume controleren en indien nodig aanpassen		Afdelingshoofd	Vrijdag
10	Wijzigingen invoeren aan het voorgestelde uurrooster	Timesquare Module Uurroosters	Chef/ Assistent Front End	Zaterdag
11	Bezetting van het werkvolume controleren	Timesquare Module Uurroosters	Directeur	
12	Fixeren van de uurroosters en controleren van de illegaliteiten voor het printen en afficheren van de plannings	Timesquare Module Afdrukken	Chef/ Assistent Front End	
13	De bezetting voor alle afdelingen van éénzelfde dag printen (aan winkeleverantwoordelijke geven) en printen dagelijkse uurroosters voor alle afdelingen	Timesquare Module Afdrukken	Chef/ Assistent Front End	Dagelijks voor lopende planning
14	De taken van de dag verdelen op het document dagelijkse uurroosters		Afdelingshoofd	Dagelijks voor lopende planning
15	De gerealiseerde polyvalente uren en niet-productieve uren in de transfertentabel invoeren	Polyvalentietool	Chef/ Assistent Front End	Maandag na de uurrooster week

Figuur 6.1: Opmaken van een uurrooster bij Delhaize Watersportbaan

Het proces begint met de toewijzing van beschikbare uren aan de verschillende taken. Dit wil zeggen dat voor iedere taak een aantal uur wordt toegewezen om de taak uit te voeren. Eerst wordt het totaal aantal beschikbare uren (voor alle taken) per week bepaald op basis van het verwachte omzetcijfer voor de volledige week. Vervolgens wordt dit procentueel verdeeld over de verschillende dagen op basis van het verwachte omzetcijfer voor een specifieke dag.

Het verwachte omzetcijfer wordt voorspeld op basis van historische gegevens (de gerealiseerde omzet op gelijkaardige dagen in het verleden) en externe gegevens (gegevens met betrekking tot concurrentie, aantal studenten dat in de buurt woont, begin en einde van het academiejaar, ...). Het aantal beschikbare uren per taak per dag wordt de **norm per dag** genoemd.

Vervolgens wordt er bekeken of bepaalde parameters gewijzigd of toegevoegd moeten worden omdat men in een uitzonderlijke week zit. Een voorbeeld hiervan is de week tussen Kerstmis en Nieuwjaar. Deze aanpassingen kunnen een invloed hebben op de **verdelingsmodellen** die gebruikt moeten worden. Tijdens de week tussen Kerstmis en Nieuwjaar zal de traiteurafdeling (Bakkerij en bereide maaltijden, zie tabel 6.1) bijvoorbeeld meer werk hebben dan tijdens een doorsnee week. Daarom moeten er tijdens deze week extra uren (en dus personeel) toegewezen worden aan de traiteurafdeling en is het noodzakelijk om de verdeling ten opzichte van andere afdelingen aan te passen.

Voorts moeten de **specieke randvoorwaarden** voor een bepaalde week doorgegeven worden aan het bureel, die deze dan invoert in het systeem. Specifieke randvoorwaarden zijn extra restricties die enkel gelden voor de week waarvoor men de planning aan het opstellen is. Voorbeelden van specifieke randvoorwaarden zijn: verlofaanvragen, opleidingen, aanvraag om een bepaalde dag vroeger te mogen stoppen, ... Hierna volgt er een controlestep. Enerzijds wordt het **werkvolume gevalideerd**. Hierbij controleert de directeur of het voorspelde werkvolume voor een bepaalde week realistisch is en er geen zaken over het hoofd gezien worden. Anderzijds wordt het aantal uren gecontroleerd van de personen die met verlof zijn. Er wordt nagegaan of de verlofaanvragen in overeenstemming zijn met de contracten van de werknemers.

In een volgende stap probeert Timesquare een personeelsplanningsvoorstel te doen. Hierbij worden werknemers toegewezen aan bepaalde shifts binnen een bepaalde afdeling. Delhaize Watersportbaan werkt met zeer veel verschillende shifts die verschillen in starttijd en duur. De shifts kunnen elkaar ook overlappen. Dit is noodzakelijk om pieken in de vraag (i.e. het aantal klanten) op te vangen en om ervoor te zorgen dat er steeds voldoende personeel aanwezig is. Meestal stuit het systeem echter op een aantal **illegaliteiten** waardoor het geen geldig voorstel kan doen. Verboden dagbeginnen/dageinden, onduidelijkheden omtrent het aantal te werken uren, codes die niet herkend worden, ... zijn voorbeelden van illegaliteiten. Sommige

illegaliteiten komen op een onverklaarbare wijze in het systeem te zitten. Zo is het bijvoorbeeld reeds voorgevallen dat het systeem aangaf dat zes werknemers geen geldig contract hadden voor een bepaalde week terwijl deze werknemers al jarenlang voor de onderneming werken en er geen enkel probleem is met hun contract. Wanneer de illegaliteiten opgelost zijn, dit proces wordt **legaliseren** genoemd, kan Timesquare een geldig **uurroostervoorstel** doen en wordt dit afgedrukt. Men noemt deze versie van het uurrooster de draft-versie.

Deze **draft-versie** moet door de afdelingshoofden **grondig gecontroleerd** worden. Meestal zijn er nog heel wat aanpassingen nodig. Dit komt doordat niet alle relevante informatie in het systeem zit en doordat de voorspellingen van het systeem niet altijd even accuraat zijn. Een eerste voorbeeld, waarbij aanpassingen noodzakelijk zijn, heeft betrekking op het aantal kassawerknemers bij het begin van een dag. Volgens het systeem is het voldoende om hiervoor twee werknemers toe te wijzen. Het afdelingshoofd dat verantwoordelijk is voor het kassapersoneel weet echter uit ervaring dat er minimum vier werknemers nodig zijn bij het begin van de dag. Een tweede voorbeeld waarbij ingegrepen moet worden, treedt op bij de onthaalfunctie. Wanneer de winkel open is, moet er telkens iemand van het kassapersoneel het onthaal bemannen. Deze taak kan echter niet door iedereen van het kassapersoneel uitgevoerd worden aangezien er extra vaardigheden voor nodig zijn. De informatie met betrekking tot wie wel en wie niet de onthaalfunctie kan uitvoeren, zit momenteel niet in het systeem. Hierdoor is het mogelijk dat geen enkele van de door het systeem toegewezen kassawerknemers de onthaalfunctie kan uitvoeren. Om dit op te lossen zijn manuele aanpassingen noodzakelijk. Andere voorbeelden van fouten die regelmatig in de draft-versie voorkomen zijn: toewijzen van een bepaalde shift aan een werknemer die ziek is, te veel/weinig uren toewijzen aan een bepaalde werknemer, ...

Wanneer alle aanpassingen op papier zijn aangebracht en het afdelingshoofd meent een geldig alternatief gevonden te hebben, worden de **aanpassingen ingevoerd in het systeem**. Het aangepaste rooster wordt **nog eens grondig gecontroleerd**. Als alles in orde is, wordt het **uurrooster gefixeerd**. Dit betekent dat alles vastgezet wordt en het uurrooster definitief is. Vervolgens wordt voor alle afdelingen de bezetting per dag voor een volledige week afgedrukt en aan de winkelverantwoordelijke gegeven. Deze **weekplanning** wordt drie weken op voorhand uitgehangen zodat iedere werknemer weet wanneer hij wel en niet moet werken.

Per afdeling worden er ook **dagelijkse uurroosters** afgedrukt. Deze worden dan gebruikt door de afdelingshoofden om de **taken van de dag te verdelen over de beschikbare werknemers**.

Momenteel is men aan het nagaan welke afdelingen er onder- en overbemand zijn. Om dit in kaart te brengen verwacht men dat de gerealiseerde polyvalente uren (uren gepresteerd door werknemers die helpen bij afdelingen waar het op dat moment nodig is) en niet-productieve uren (uren waar de werknemer niets te doen heeft omdat er te veel personeel aanwezig is) bijgehouden worden in een transfertentabel. Op basis van deze informatie wil men een **polyvalentietool** invoeren die moet zorgen voor een efficiëntere werkverdeling tussen de verschillende afdelingen.

6.2.2 Vastgestelde problemen

Delhaize Watersportbaan is helemaal niet tevreden met het huidige personeelsplanningssysteem. Doordat dit systeem niet goed werkt, worden er iedere week heel wat werkuren besteedt aan het corrigeren van de planning. De huidige directeur schat dat er wekelijks 10 werkuren gespendeerd worden aan het opstellen van de personeelsplanning. Bij een goedwerkend systeem zouden deze werkuren sterk gereduceerd kunnen worden en zou men meer tijd kunnen besteden aan andere activiteiten.

Een eerste verzuchting is het feit dat het systeem bestaat uit **meerdere softwareprogramma's**. Dit zorgt ervoor dat het doorlopen van het planningsproces complexer is dan wanneer men slechts één softwareprogramma zou moeten gebruiken. Bovendien gebeuren er heel wat fouten bij de informatieoverdracht tussen de verschillende softwaresystemen.

Een volgend probleem is de **gebruiksvriendelijkheid** van de gebruikte softwareprogramma's. Het is bijvoorbeeld zeer moeilijk om tijdens de planningsfase nog bijkomende restricties in het systeem te steken. Voorts zijn er te veel verschillende mappen, waardoor het moeilijk is om het overzicht te bewaren en er heel wat muisklikken nodig zijn om het gewenste venster te bereiken. Bovendien werken de programma's erg traag waardoor er veel tijd verloren gaat doordat men moet wachten op het volgende venster. Tot slot is het niet mogelijk om de data met betrekking tot restricties, contracten, ... snel en in een gebruiksvriendelijk format te exporteren.

Een derde probleem is dat **niet alle relevante data in het systeem** zitten. Enerzijds komt dit doordat het niet eenvoudig is om nieuwe data aan het systeem toe te voegen, wat nog versterkt wordt door de vaststelling dat de meeste werknemers die het planningssysteem moeten gebruiken, niet weten hoe het systeem exact werkt. Anderzijds komt dit doordat het systeem hetzelfde is voor alle vestigingen van de Delhaize Groep. Hierdoor is het niet mogelijk om specifieke zaken, die enkel van toepassing zijn voor een bepaalde winkel in het systeem te steken. Het feit dat niet alle relevante data in het systeem zit, is natuurlijk de hoofdoorzaak van de **fouten in de output van het systeem**. Wanneer de ingevoerde data niet accuraat en/of onvolledig zijn, kan men niet verwachten dat men een goede output bekommt (garbage-in-garbage-out principe). Al kunnen niet alle fouten hieraan toegeschreven worden. Sommige fouten komen voor omdat het systeem op zich niet optimaal werkt.

Een vierde probleem is de **accuraatheid van de gebruikte voorspellingsmodellen**. Er worden bijvoorbeeld verdelingstabellen opgesteld die het minimum aantal werknemers per afdeling op ieder ogenblik van de dag weergeven. Deze cijfers zijn echter geen accurate weergave van de werkelijke noden en wanneer dit niet manueel aangepast wordt, zou dit leiden tot personeelstekorten en/of -overschotten. Ook het feit dat enkel naar historische data gekeken wordt om voorspellingen te doen, zorgt ervoor dat de werkelijke situatie niet altijd goed ingeschat wordt.

Een vijfde probleem is dat het planningssysteem geen rekening houdt met **benodigde competenties en vaardigheidsniveaus**. Het begrip “competentie” duidt hier op de mogelijkheid om een bepaalde taak al dan niet te kunnen uitvoeren. “Vaardigheidsniveau” is een aanduiding voor hoe goed, snel, . . . de werknemers een bepaalde taak kunnen uitvoeren. Niet alle taken kunnen door alle werknemers uitgevoerd worden. Een taak die in de beenhouwerij uitgevoerd moet worden, kan bijvoorbeeld zeer specifieke competenties vereisen. Hoewel de bedrijfsleiding min of meer op de hoogte is van de aanwezige competenties onder de werknemers, wordt hier geen of slechts op een beperkte manier rekening mee gehouden door het planningssysteem. Wanneer er bijgevolg tegenstrijdigheden optreden, worden deze manueel opgelost. Ook met het vaardigheidsniveau van de werknemers wordt te weinig rekening gehouden. Alle werknemers krijgen evenveel tijd om een bepaalde taak uit te voeren. Nochtans is het niet zo moeilijk om te bedenken dat iemand die al 10 jaar voor de onderneming werkt

een bepaalde taak sneller zal kunnen uitvoeren dan iemand die pas onlangs aangeworven werd. Bovendien is er ook een natuurlijk verschil in de vaardigheidsniveaus van de werknemers. De aanwezige competenties en vaardigheidsniveaus van werknemers in kaart brengen en gebruiken tijdens het planningsproces zou de efficiëntie van dit proces zeker verbeteren.

Een zesde probleem is het omgaan met **ziekte en verlof**. (On)verwachte afwezigheid door ziekte en verwachte afwezigheid door verlof zijn 2 fenomenen die het opstellen van een personeelsplanning bemoeilijken. In ons eigen onderzoek (zie hoofdstuk 8 Research-application gap bij retailbedrijven) worden ziekte en verlof ook vaak aangehaald als het belangrijkste probleem bij het opstellen van een personeelsplanning.

Een zevende probleem is de **overdracht van het uiteindelijke werkschema** naar de werknemers. Momenteel worden deze schema's uitgehangen op een centrale plaats, waar de werknemers dan naartoe gaan om hun werkuren over te schrijven. De werknemers zouden op een veel efficiëntere manier op de hoogte gesteld kunnen worden van hun uurrooster. Dit kan bijvoorbeeld via e-mail gebeuren, via een inlogstelsel op een intranet waar iedereen zijn eigen werkuren kan zien, via een automatische connectie met de elektronische agenda van de werknemers, ...

Een laatste probleem is het feit dat de **werknemers toegewezen worden aan een afdeling en niet aan specifieke taken**. Hierdoor moeten de afdelingshoofden op het moment zelf de taken verdelen onder de beschikbare werknemers. Hoewel de meeste afdelingshoofden heel wat ervaring hebben en er gepoogd wordt om het werk zo goed mogelijk te verdelen, verloopt dit proces niet zonder problemen. Vooreerst geven de afdelingshoofden aan zeer veel tijd te verliezen bij dit proces. Bovendien heeft ieder afdelingshoofd zijn eigen methode om het werk te verdelen. Dit zorgt ervoor dat er grote verschillen zijn tussen de afdelingen. Het grootste probleem treedt echter op wanneer het afdelingshoofd afwezig is (door verlof, ziekte, ...). De werknemers zijn immers gewoon om zijn/haar bevelen (op een slaafse) manier op te volgen en weten niet wat ze moeten doen als deze persoon plots wegvalt.

Tot slot wensen we nog te vermelden dat veel van de problemen die Delhaize Watersportbaan ervaart met betrekking tot de personeelsplanning ook gerapporteerd worden door andere retailbedrijven. Een uitgebreide analyse van de belangrijkste personeelsplanningsproblemen

die de bevroegde retailbedrijven tijdens ons eigen onderzoek naar de research-application gap rapporteerden, is beschikbaar in hoofdstuk 8 Research-application gap bij retailbedrijven, sectie 8.2.12.

6.3 Focus van de praktijkstudie

Tijdens de gesprekken met het personeel van Delhaize Watersportbaan (directeur, afdelingshoofden, gewone werknemers, ...) kwamen verschillende problemen inzake personeelsplanning aan het licht (zie sectie 6.2.2). In overleg met mijn promotor en de directie van Delhaize Watersportbaan werd beslist om in deze thesis te focussen op de problemen omtrent het **toewijzen van werknemers aan specifieke taken**. Dit probleem staat in de literatuur bekend als het task allocation probleem (zie hoofdstuk 4). Er werd ervoor gekozen om op dit probleem te focussen omdat we ervan overtuigd zijn dat grondig onderzoek naar de beste toewijzingsmethodes voor het toewijzen van werknemers aan taken significante voordelen kan opleveren voor (retail)bedrijven. Door efficiënte toewijzingsmethodes te gebruiken kunnen tijd- en kostenbesparingen gerealiseerd worden en kunnen de klant- en werknemerstevredenheid verhoogd worden.

Zoals reeds vermeld werd, wordt dit proces bij Delhaize Watersportbaan momenteel uitgevoerd door de afdelingshoofden. Hierdoor is de toewijzingsprocedure vrij subjectief en sterk afhankelijk van het inzicht van het afdelingshoofd. Bovendien kan dit vrij complex worden als er veel werknemers aan veel taken toegewezen moeten worden. Er bestaan nochtans heel wat verschillende, wetenschappelijk onderbouwde, technieken om werknemers toe te wijzen aan taken zoals first-come-first-serve, best-fit, ... (zie hoofdstuk 4, sectie 4.2.2). De bedoeling van hoofdstuk 7 (zie deel 2 Praktijkstudie) is om deze **toewijzingsmethoden grondig uit te testen**, de performantie te vergelijken en zo op zoek te gaan naar de beste toewijzingsmethode op basis van de parameters van het specifieke probleem.

Het **task allocation probleem** dat we zullen onderzoeken bestaat uit een **takenet die door de beschikbare werknemers zo snel mogelijk uitgevoerd moeten worden**. Alle taken kunnen reeds vanaf tijdstip 0 aangevat worden. Op ieder tijdstip t wordt er dan een bepaalde taak geselecteerd en wordt een bepaalde toewijzingsmethode gebruikt om een werknemer toe te wijzen aan deze taak. Deze werkwijze wordt herhaald totdat alle taken

uitgevoerd zijn. De gehanteerde werkwijze is gebaseerd op het onderzoek van Campbell & Wu (2007). Een uitgebreidere omschrijving van het probleem met visuele representatie volgt in hoofdstuk 7, sectie 7.1.1. De experimenten zullen in eerste instantie uitgevoerd worden op **fictieve data** (zie hoofdstuk 7, sectie 7.1). Hierna worden de toewijzingsmethodes ook getest op de **data van Delhaize Watersportbaan** (zie hoofdstuk 7, sectie 7.1.2).

Hoofdstuk 7

Toewijzing van werknemers aan taken

In dit hoofdstuk zullen we de toewijzing van werknemers aan taken op een meer praktische manier benaderen. De bedoeling is om een aantal zaken uit het eerder theoretische hoofdstuk 4 (uit deel 1 Literatuurstudie) te illustreren. We zullen dit doen op basis van een aantal **simulaties**. De lezer die meer informatie wenst over het gebruik van simulaties als oplossingsmethode voor planningsproblemen kan hiervoor bijlage C raadplegen. Eerst zullen we simulaties uitvoeren op basis van **fictieve data** (zie sectie 7.1). Hierna zullen we enkele simulaties uitvoeren met behulp van de **real-life data van Delhaize Watersportbaan** (zie sectie 7.2).

Sectie 7.1 begint met een korte omschrijving van het onderzochte probleem. Het probleem op zich, namelijk een bepaalde taken set zo snel mogelijk door een bepaald aantal werknemers laten uitvoeren, klinkt misschien éénvoudig, maar gedurende dit hoofdstuk zal de lezer echter merken dat er met heel wat zaken rekening gehouden moet worden als je dit zo efficiënt mogelijk wilt doen. Hierna volgt een gedetailleerde omschrijving van het **basisalgoritme** dat gebruikt zal worden voor het uitvoeren van de simulaties (zie sectie 7.1.1). Dit basisalgoritme werd overgenomen uit het werk *Learning and Exploiting Knowledge in Multi-Agent Task Allocation Problems* (Campbell & Wu, 2007). Eerst wordt het basisalgoritme geïntroduceerd en lijn per lijn besproken (zie sectie 7.1.1.1). Hierna zullen we extra aandacht besteden aan de twee toewijzingsmethodes die centraal zullen staan in dit hoofdstuk, namelijk de **first-**

come-first-serve methode en de **best-fit methode** (zie sectie 7.1.1.2). De vergelijking van verschillende toewijzingsmethodes bij verschillende testcondities is immers het hoofddoel van dit onderzoek. Initieel zullen we vooral op deze twee toewijzingsmethodes focussen omdat deze ook centraal staan in het werk van Campbell & Wu (2007). Later zullen we ook andere toewijzingsmethodes introduceren en uittesten. Vervolgens wordt de werking van het basisalgoritme visueel voorgesteld en uitgelegd aan de hand van een voorbeeld (zie sectie 7.1.1.3). Deze sectie heeft als doel om de lezer helemaal vertrouwd te maken met de werking van het basisalgoritme. In sectie 7.1.1.4 wordt tot slot nog een overzicht gegeven van alle relevante parameters. Bij ieder experiment zal er ook een parametertabel weergegeven worden, zodat de lezer duidelijk ziet welke parameters er getest worden in het experiment.

In sectie 7.1.2 volgt een reeks **simulaties/experimenten**, waarbij de toewijzing van werknemers aan taken in al haar facetten onderzocht wordt. De experimenten werden opgedeeld in vier secties (secties 7.1.2.1 - 7.1.2.4). In sectie 7.1.2.1 zullen de **effecten van learning** bij de first-come-first-serve en de best-fit methode getest worden. Deze sectie is hoofdzakelijk gebaseerd op het werk van Campbell & Wu (2007) en heeft als hoofddoel om de resultaten van Campbell & Wu (2007) te valideren en een aantal inzichten aan te brengen waar we dan verder op zullen bouwen gedurende de volgende experimenten. In sectie 7.1.2.2 wordt een **hybride methode** (combinatie van first-come-first-serve en best-fit methode) geïntroduceerd en uitvoerig getest. Sectie 7.1.2.3 bestaat uit **een aantal losse experimenten**. In experiment 8 worden centrale en decentrale toewijzing met elkaar vergeleken. In experiment 9 laten we de parameters *estSkillLevel* en *actualSkillLevel* (parameters gerelateerd aan het vaardigheidsniveau van de werknemers) variëren. In experiment 10 worden de effecten van het aantal beschikbare werknemers om de taken uit te voeren, onderzocht. In de laatste sectie (sectie 7.1.2.4) worden er **verschillende priority rules** voor het selecteren van taken en voor het selecteren van werknemers uitgetest.

In sectie 7.2 worden experimenten uitgevoerd voor de **real-life data van Delhaize Watersportbaan**. Eerst wordt er een **kort overzicht** gegeven van de data die gebruikt zullen worden bij het uitvoeren van de experimenten (zie sectie 7.2.1). Hierna worden er **3 experimenten** uitgevoerd (zie sectie 7.2.2). Het eerste experiment vergelijkt de **centrale en decentrale toewijzingsmethode**. Het tweede experiment vergelijkt de mogelijke **priority**

rules voor het selecteren van een taak. Het derde experiment vergelijkt verschillende **toewijzingsmethodes voor het toewijzen van werknemers aan taken.**

Tot slot wordt in sectie 7.3 de **bijdrage van het uitgevoerde onderzoek** aan de bestaande literatuur besproken. Ook de mogelijkheden voor verder onderzoek worden toegelicht.

7.1 Vergelijking toewijzingsmethodes op basis van fictieve data

7.1.1 Basisalgoritme

Zoals vermeld werd in de inleiding van dit hoofdstuk zullen we eerst een aantal toewijzingsmethodes uittesten op fictieve data. Hiervoor maken we gebruik van een basisalgoritme dat overgenomen werd uit het werk *Learning and Exploiting Knowledge in Multi-Agent Task Allocation Problems* (Campbell & Wu, 2007). Het doel van dit basisalgoritme is om **een set van taken zo snel mogelijk te laten uitvoeren door een set van beschikbare werknemers.** Hier zullen we de basisprincipes van het basisalgoritme reeds kort beschrijven. Een uitgebreide beschrijving van het basisalgoritme en een visuele voorstelling ervan volgen in secties 7.1.1.1 Beschrijving werkwijze basisalgoritme en 7.1.1.3 Visuele voorstelling werkwijze basisalgoritme.

Korte beschrijving basisalgoritme. Alle taken uit de takenset kunnen vanaf tijdstip 0 aangevat worden. Op ieder tijdstip t wordt er een **taak geselecteerd via een bepaalde priority rule** en wordt er een **werknemer aan deze taak toegewezen via een bepaalde toewijzingsmethode.** Bij deze toewijzingsmethodes wordt er rekening gehouden met het **geschatte vaardigheidsniveau** van de werknemers. In het begin kennen de werknemers hun eigen vaardigheidsniveau echter niet en denken ze dat ze alle taken kunnen uitvoeren. Wanneer het **werkelijke vaardigheidsniveau** van de geselecteerde werknemer groter is dan de moeilijkheid van de taak, zal hij deze taak uitvoeren. Indien dit niet het geval is, wordt de taak niet uitgevoerd en kan er eventueel “geleerd” worden. Wanneer “**leren**” mogelijk is, zullen de werknemers hun geschatte vaardigheidsniveau aanpassen op basis van de moeilijkheid van de taak die niet uitgevoerd kon worden. Indien “leren” niet mogelijk is blijft het geschatte vaardigheidsniveau van de werknemers constant. Deze werkwijze wordt herhaald totdat alle taken uitgevoerd werden. De bedoeling van de experimenten is om **de**

performantie van verschillende toewijzingsmethodes met elkaar te vergelijken op basis van verschillende testcondities. Als performantiemaatstaf wordt de totale duurtijd voor het uitvoeren van alle taken (C_{max}) gebruikt. We zullen zien dat het niet steeds dezelfde methode is die de beste resultaten oplevert wanneer we de parameters van het task allocation probleem (vb. het aantal taken, de duurtijd van de taken, ...) laten variëren.

In sectie 7.1.1.1 zal het **basialgoritme geïntroduceerd en beschreven** worden. In sectie 7.1.1.2 wordt de **concrete werking van de toewijzingsmethodes** voor het toewijzen van een werknemer aan een taak toegelicht. In sectie 7.1.1.3 volgt dan een **visuele voorstelling** van de werking van het basialgoritme aan de hand van een voorbeeld. Tot slot worden in sectie 7.1.1.4 **alle parameters opgelijst** die van belang zijn bij het geteste task allocation probleem. Deze parameters zullen we laten variëren gedurende de verschillende experimenten.

7.1.1.1 Beschrijving werkwijze basialgoritme

Om het task allocation probleem te bestuderen, wordt er een simulatiemodel opgesteld om te testen hoe een groep werknemers (**EMPLOYEES**), waarbij er geen gegevens beschikbaar zijn met betrekking tot het vaardigheidsniveau van deze werknemers, op een efficiënte manier toegewezen kan worden aan een bepaalde set van taken (**DUTIES**). Het doel is om deze **set van taken (DUTIES) zo snel mogelijk uit te voeren**. Alle taken kunnen vanaf tijdstip 0 aangevat worden.

Voor iedere werknemer zijn de volgende drie variabelen beschikbaar: *actualSkillLevel*, *estSkillLevel* en *timeBusy*. **actualSkillLevel** is een willekeurig gekozen decimaal getal tussen 0,0 en 1,0 dat het werkelijke vaardigheidsniveau van de werknemer weergeeft. Hoe groter de waarde van *actualSkillLevel* van een bepaalde werknemer is, hoe groter het vaardigheidsniveau van deze werknemer is. Deze waarde blijft **constant** gedurende de volledige testperiode. Het *actualSkillLevel* van de werknemers stijgt dus niet naarmate men meer taken uitgevoerd heeft. **estSkillLevel** krijgt initieel de waarde 1,0 en geeft weer wat de werknemer denkt dat zijn werkelijke vaardigheidsniveau (*actualSkillLevel*) is. De waarde 1,0 wijst erop dat de werknemer denkt dat hij alle taken kan uitvoeren. Als er **learning** mogelijk is, zal de waarde van *estSkillLevel* aangepast worden via trial-and-error. De concrete werking van dit leerproces wordt in de paragraaf Uitleg basialgoritme uitvoerig besproken. In sectie 7.1.1.3

zal de werking van het leerproces ook geïllustreerd worden aan de hand van een voorbeeld. De variabele *learning* is een boolean (true or false) die meegegeven wordt bij het aanroepen van het simulatiemodel. *timeBusy* geeft weer hoe lang de werknemer nog bezig is met zijn huidige taak. Wanneer de *timeBusy* variabele van een werknemer groter is dan 0, kan deze werknemer niet toegewezen worden aan een (nieuwe) taak.

Voor iedere taak zijn de volgende twee variabelen beschikbaar: *difficulty* en *duration*. Een werknemer kan een bepaalde taak enkel uitvoeren als zijn/haar *actualSkillLevel* groter is dan of gelijk is aan de *difficulty* van de taak. Om de kans dat een bepaalde taak te moeilijk is voor alle werknemers te verkleinen, wordt aan de variabele *difficulty* een willekeurig getal tussen 0,0 en 0,9 toegekend. Hoe groter de waarde van *difficulty* van een bepaalde taak is, hoe moeilijker het uitvoeren van deze taak is. *duration* is een positief geheel getal dat aangeeft hoe lang een werknemer zal bezig zijn met het uitvoeren van een taak. Er wordt verondersteld dat er geen verband is tussen de *difficulty* en de *duration* van een taak. Verder wordt er verondersteld dat het voor iedere werknemer even lang duurt om een bepaalde taak uit te voeren. Aangezien deze simulatie dient om algemene, gedragsmatige trends op te sporen, houdt het simulatiemodel geen rekening met de mobiliteit van de werknemers en eventuele problemen die kunnen ontstaan door het contact tussen verschillende werknemers.

Dit is het basisalgoritme dat gebruikt werd voor het simulatiemodel:

Model(*EMPLOYEES*, *DUTIES*, *learning*)

- (1) $t := 0$
- (2) *if* *DUTIES* = \emptyset *then*
- (3) *return* $t + \max(E_i.timeBusy : E_i \in EMPLOYEES)$
- (4) $\forall E_i \in EMPLOYEES : \textit{if } E_i.timeBusy > 0 \textit{ then}$
- (5) $E_i.timeBusy := E_i.timeBusy - 1$
- (6) *AVAILABLE* = $(E_i : E_i \in EMPLOYEES \ \&\& \ E_i.timeBusy = 0)$
- (7) *if* *AVAILABLE* = \emptyset *then*
- (8) *GOTO* *Line 18*

- (9) *select duty D from DUTIES*
- (10) *if $\nexists E_i \in AVAILABLE \ \&\& \ E_i.estSkillLevel > D.difficulty$ then*
- (11) *GOTO Line 18*
- (12) *find an employee E to complete task T*
- (13) *if $E.actualSkillLevel \geq D.difficulty$ then*
- (14) *DUTIES = DUTIES – D*
- (15) *E.timeBusy := D.duration*
- (16) *else if learning = true then*
- (17) *E.estSkillLevel := D.difficulty*
- (18) *t := t + 1*
- (19) *GOTO Line 2*

Uitleg basisalgoritme. De variabele t stelt het tijdstip voor en houdt het aantal iteraties van het algoritme bij. Uiteraard start het algoritme op tijdstip 0. Lijnen 2 en 3 van het algoritme worden gebruikt om te kijken of de set van taken $DUTIES$ leeg is. Als deze leeg is, dan zijn alle taken uitgevoerd en retourneert het model de tijd die de werknemers hiervoor nodig hadden. Deze tijd wordt bepaald door het aantal iteraties van het algoritme (de variabele t) + de maximale waarde van de variabele $timeBusy$ van alle werknemers die op dat moment nog aan het werk zijn. De totale duurtijd voor het uitvoeren van alle taken, die op lijn 3 geretourneerd wordt, is een zeer belangrijke waarde. Zoals reeds vermeld werd, zullen de verschillende toewijzingsmethodes immers met elkaar vergeleken worden op basis van deze duurtijd (C_{max}). Om te simuleren dat de werknemers bezig zijn met hun taken, wordt de waarde van de variabele $timeBusy$ voor iedere werknemer die aan het werk is, verminderd met één (zie lijnen 4 & 5). Op lijn 6 wordt de verzameling $AVAILABLE$ aangemaakt. Deze verzameling bestaat uit alle werknemers die op dat moment vrij zijn ($E.timeBusy = 0$) en dus een (nieuwe) taak kunnen uitvoeren. Als er geen enkele werknemer beschikbaar is ($AVAILABLE = \emptyset$), springt het algoritme naar lijn 18 (zie lijnen 7 & 8) waar t verhoogd wordt met één en via lijn 19 begint het algoritme dan opnieuw. Indien er wel werknemers beschikbaar zijn, gaat het algoritme verder met lijn 9. Hier wordt een taak D uit de verzameling met alle

taken (*DUTIES*) geselecteerd. Dit gebeurt op basis van een bepaalde priority rule. Als er geen enkele beschikbare werknemer is met een *estSkillLevel* dat groter is dan de *difficulty* van de taak *D*, dan kan de geselecteerde taak niet uitgevoerd worden en springt het algoritme naar lijn 18 (zie lijnen 10 & 11) waar *t* verhoogd wordt met één en via lijn 19 begint het algoritme dan opnieuw. Als er wel werknemers met een *estSkillLevel* dat groter is dan de *difficulty* van de taak *D* beschikbaar zijn, wordt er op lijn 12 een werknemer *E* gekozen om taak *D* uit te voeren. Dit gebeurt op basis van een bepaalde toewijzingsmethode. Meer uitleg over de gebruikte toewijzingsmethodes volgt in sectie 7.1.1.2. Op lijn 13 wordt gecontroleerd of het werkelijke vaardigheidsniveau van de geselecteerde werknemer *E* hoog genoeg is om taak *D* uit te voeren (*E.actualSkillLevel* moet op zijn minst even groot zijn als *D.difficulty*). Als dit het geval is, wordt de taak *D* verwijderd uit de set met taken *DUTIES* (zie lijn 14) en wordt de waarde van *timeBusy* voor werknemer *E* gelijk gesteld aan de *duration* van taak *D* (zie lijn 15). Als dit niet het geval is, kan de geselecteerde werknemer *E* taak *D* niet uitvoeren en taak *D* wordt dan ook niet verwijderd uit de set met taken *DUTIES*. Indien beslist werd rekening te houden met de mogelijkheid om bij te leren (*learning = true*), wordt het *estSkillLevel* van werknemer *E* vervangen door de *difficulty* van taak *D*. Aangezien werknemer *E* taak *D* niet kon uitvoeren, zal werknemer *E* immers ook geen taken met een hogere *difficulty* dan taak *D* kunnen uitvoeren. Via trial & error kunnen de werknemers zo hun vaardigheidsniveau beter inschatten (*estSkillLevel* komt dichterbij *actualSkillLevel* te liggen). Dit zal ervoor zorgen dat de kans dat een geselecteerde werknemer *E* een *actualSkillLevel* heeft dat te laag is om de geselecteerde taak *D* uit te voeren, gedurende de simulatie steeds kleiner wordt. Als *learning* niet mogelijk is, blijft de waarde van *estSkillLevel* voor alle werknemers op 1,0 staan en blijft de kans op een “slechte” toewijzing (toewijzing waarbij de geselecteerde werknemer *E* de geselecteerde taak *D* niet kan uitvoeren) gedurende de volledige simulatie even groot.

Opmerking. *In dit algoritme wordt per tijdseenheid hoogstens één taak toegewezen aan één werknemer. Dit komt overeen met een sequentiële toewijzing. Deze assumptie werd gemaakt omdat hier enkel de algemene, gedragsmatige verschillen tussen toewijzingsmethodes onderzocht worden. In de realiteit kunnen meestal meerdere taken tegelijk starten. Het is belangrijk om hier rekening mee te houden bij het interpreteren van de resultaten. Het doel van dit onderzoek is hoofdzakelijk om tot een aantal inzichten met betrekking tot de performantie van toewijzingsmethodes te komen en minder om de realiteit zo nauwgezet mogelijk na te bootsen.*

7.1.1.2 Toewijzingsmethodes

Op lijn 12 van het basisalgoritme wordt een werknemer E toegewezen aan een taak D . Dit gebeurt door het toepassen van een bepaalde *task allocation method* (toewijzingsmethode). De toewijzingsmethodes die in het grootste deel van de experimenten centraal zullen staan, zijn *first-come-first-serve* en *best-fit*. Beide methodes moeten een werknemer E uit de verzameling *AVAILABLE* toewijzen aan een vooraf geselecteerde taak D . In sectie 7.1.2.4, experiment 12 zullen ook andere toewijzingsmethodes uitgetest worden. De werkwijze van deze methodes wordt op dat moment nader toegelicht.

Bij de *first-come-first-serve methode* wordt er een willekeurig startpunt gekozen om de verzameling *AVAILABLE* te doorlopen. De eerste werknemer die een *estSkillLevel* heeft dat groter is dan de *difficulty* van taak D , wordt toegewezen aan taak D . Doordat lijn 10 & 11 ervoor zorgen dat minstens één werknemer uit de verzameling *AVAILABLE* denkt dat hij/zij taak D kan uitvoeren, zijn we zeker dat minstens één werknemer een *estSkillLevel* zal hebben dat groter is dan de *difficulty* van taak D .

De *best-fit methode* overloopt alle werknemers uit de verzameling *AVAILABLE* en selecteert de werknemer E met de minimale, positieve waarde voor $E.estSkillLevel - D.difficulty$. In het vervolg zullen we naar deze waarde verwijzen met de term *E.fitValue*. De werknemer E die denkt dat zijn skill level ($E.estSkillLevel$) het dichtst licht bij en groter is dan de moeilijkheid van de taak ($D.difficulty$), zal dus aan taak D toegewezen worden. Bij deze werknemer E is de *fit* met de uit te voeren taak D het best, vandaar de naam *best-fit* methode.

De werking van het basisalgoritme, waar de *first-come-first-serve* en de *best-fit* methode een belangrijke rol in spelen, zal in sectie 7.1.1.3 verduidelijkt worden aan de hand van een voorbeeld.

7.1.1.3 Visuele voorstelling werkwijze basisalgoritme

In deze sectie zullen we de werkwijze van het basisalgoritme verduidelijken aan de hand van een éénvoudig voorbeeld. Hierbij zullen we de verschillende stappen van het algoritme ook visueel voorstellen.

Beschrijving van het voorbeeld. Stel dat er een takenset *DUTIES* bestaande uit drie taken zo snel mogelijk uitgevoerd moet worden door een set werknemers *EMPLOYEES* bestaande uit drie werknemers. De parameters van de taken en werknemers worden weergegeven in tabel 7.1 en 7.2. Zowel de moeilijkheid (*difficulty*) als de duurtijd (*duration*) van de uit te voeren taken varieert tussen de uit te voeren taken (zie tabel 7.1). De werknemers hebben een verschillend *actualSkillLevel*, *estSkillLevel* is gelijk aan 1 omdat de werknemers initieel denken dat ze alle taken kunnen uitvoeren en *timeBusy* is gelijk aan 0 omdat alle werknemers beschikbaar zijn op tijdstip $t = 0$ (zie tabel 7.2).

Taak	difficulty	duration
1	0,26	2
2	0,51	3
3	0,72	4

Tabel 7.1: Parameters taken voorbeeld

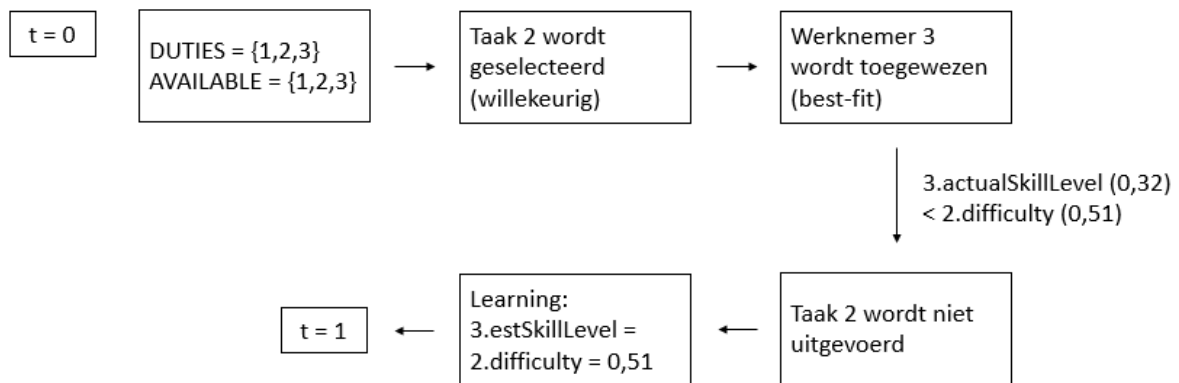
Werknemer	actualSkillLevel	estSkillLevel	timeBusy
1	0,81	1	0
2	0,56	1	0
3	0,32	1	0

Tabel 7.2: Parameters werknemers voorbeeld

Nu zullen we het mogelijke verloop van een simulatie bespreken aan de hand van het voorbeeld. We zullen dit doen op basis van een **schematische voorstelling van de verschillende gebeurtenissen op ieder tijdstip t** . Dit zou ervoor moeten zorgen dat de werking van het basisalgoritme zeer duidelijk is voor de lezer.

Het algoritme start op tijdstip $t = 0$ (zie figuur 7.1). Uiteraard moeten alle taken nog uitgevoerd worden en zijn alle werknemers beschikbaar ($DUTIES = \{1, 2, 3\}$ en $AVAILABLE = \{1, 2, 3\}$). Vervolgens wordt een taak geselecteerd op basis van een bepaalde priority rule. Hier wordt **taak 2 willekeurig geselecteerd**. Gedurende de meeste experimenten zal willekeurige selectie gebruikt worden. Bij experiment 11 (zie sectie 7.1.2.4) worden er echter verschillende

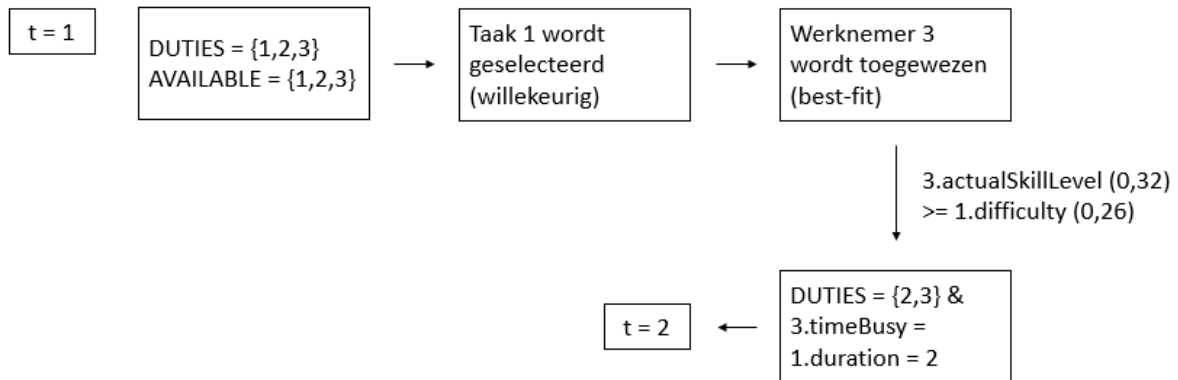
priority rules voor het selecteren van een taak met elkaar vergeleken. Aangezien het *estSkillLevel* van alle werknemers 1 bedraagt en dus groter is dan de *difficulty* van de geselecteerde taak (0,51), kunnen alle werknemers aan deze taak toegewezen worden. Hier zullen we de **best-fit methode** toepassen aangezien deze iets ingewikkelder is dan de first-come-first-serve methode en we zeker willen zijn dat de lezer de werking van de best-fit methode begrijpt. Op tijdstip $t = 0$ is de *E.fitValue* ($E.estSkillLevel - D.difficulty$) van alle werknemers gelijk aan 0,49 ($1,0 - 0,51 = 0,49$). Alle werknemers hebben dus evenveel kans om geselecteerd te worden wat dus eigenlijk overeenkomt met de first-come-first-serve methode. De werking van beide methodes verschilt enkel wanneer er een verschil is in *estSkillLevel* tussen de verschillende werknemers. In het voorbeeld wordt **werknemer 3 toegewezen aan taak 2**. Wanneer we nu het *actualSkillLevel* van werknemer 3 ($3.actualSkillLevel = 0,32$) bekijken, zien we dat dit lager ligt dan de *difficulty* van taak 2 ($2.difficulty = 0,51$), waaruit volgt dat **werknemer 3 taak 2 niet kan uitvoeren**. In dit voorbeeld gaan we ervanuit dat **learning mogelijk** is, werknemer 3 zal dus zijn *estSkillLevel* aanpassen op basis van de *difficulty* van taak 2 ($3.estSkillLevel = 2.difficulty = 0,51$). Hierna wordt er overgegaan van $t = 0$ naar $t = 1$.



Figuur 7.1: Visuele voorstelling voorbeeld basialgoritme $t = 0$

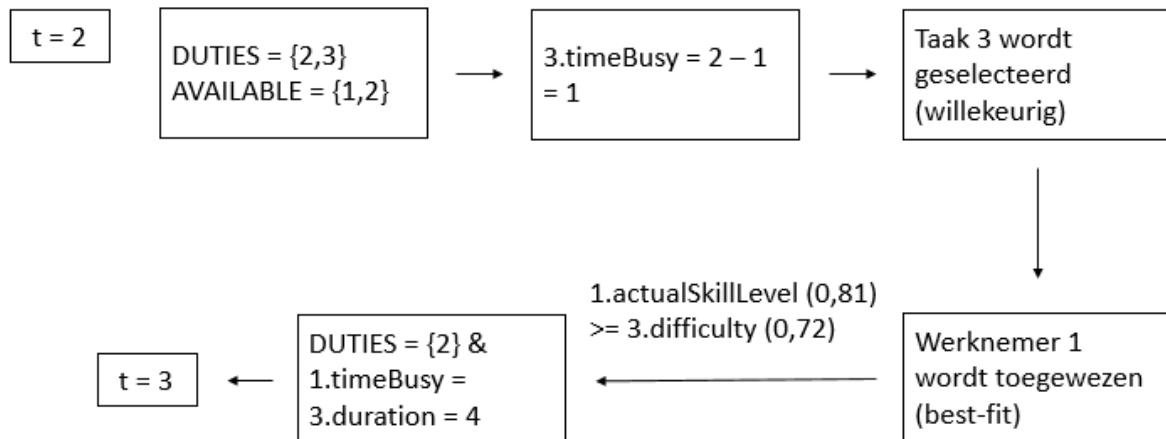
Op $t = 1$ (zie figuur 7.2) moeten nog steeds alle taken uitgevoerd worden en zijn nog steeds alle werknemers beschikbaar ($DUTIES = \{1, 2, 3\}$ en $AVAILABLE = \{1, 2, 3\}$). Deze keer wordt **taak 1 willekeurig geselecteerd**. Aangezien het *estSkillLevel* van alle werknemers groter is dan de *difficulty* van de geselecteerde taak (0,26), kunnen alle werknemers aan deze taak toegewezen worden. Opnieuw wordt de **best-fit methode** toegepast. De *fitValue* van werknemer 3 ($0,51 - 0,26 = 0,25$) is nu duidelijk lager dan de *fitValue* van de twee andere

werknemers ($1,0 - 0,26 = 0,74$). **Werknemer 3 wordt dus toegewezen aan taak 1.** Aangezien $3.actualSkillLevel = 0,32$ groter is dan $1.difficulty = 0,26$ **kan werknemer 3 taak 1 effectief uitvoeren.** Taak 1 wordt dan ook uit de takenset (*DUTIES*) verwijderd en *timeBusy* van werknemer 3 wordt gelijkgesteld aan de *duration* van taak 1 ($3.timeBusy = 1.duration = 2$). Aangezien de taak kon uitgevoerd worden, wordt er niet geleerd. Hierna wordt er overgegaan van $t = 1$ naar $t = 2$.



Figuur 7.2: Visuele voorstelling voorbeeld basisalgoritme $t = 1$

Op $t = 2$ (zie figuur 7.3) is werknemer 3 bezig met het uitvoeren van taak 1. Taak 1 mag dus niet meer geselecteerd worden en werknemer 3 is niet beschikbaar (*DUTIES* = {2, 3} en *AVAILABLE* = {1, 2}). Eerst wordt *timeBusy* van werknemer 3 met één eenheid verlaagd ($3.timeBusy = 2 - 1 = 1$). Vervolgens wordt **taak 3 willekeurig geselecteerd.** Aangezien het *estSkillLevel* van alle beschikbare werknemers (werknemers 1 & 2) groter is dan de *difficulty* van de geselecteerde taak (0, 72), kunnen alle beschikbare werknemers aan deze taak toegewezen worden. Opnieuw wordt de **best-fit methode** toegepast. De *fitValue* van beide werknemers is echter gelijk ($1,0 - 0,72 = 0,28$). Beide werknemers hebben dus evenveel kans om geselecteerd te worden. In dit voorbeeld wordt **werknemer 1 toegewezen aan taak 3.** Aangezien $1.actualSkillLevel = 0,81$ groter is dan $3.difficulty = 0,72$ **kan werknemer 1 taak 3 effectief uitvoeren.** Taak 3 wordt dan ook uit de takenset (*DUTIES*) verwijderd en *timeBusy* van werknemer 1 wordt gelijkgesteld aan de *duration* van taak 3 ($1.timeBusy = 3.duration = 4$). Aangezien de taak kon uitgevoerd worden, wordt er niet geleerd. Hierna wordt er overgegaan van $t = 2$ naar $t = 3$.



Figuur 7.3: Visuele voorstelling voorbeeld basialgoritme $t = 2$

De verdere uitwerking van dit voorbeeld werd niet opgenomen in deze thesis. Iedere iteratie van het basialgoritme is immers gelijkaardig. **Het basialgoritme wordt herhaald totdat alle taken uitgevoerd werden.** Hierna wordt de benodigde duurtijd voor het uitvoeren van alle taken gerapporteerd en deze performantiemaatstaf kan dan gebruikt worden om verschillende testcondities met elkaar te vergelijken.

We gaan ervan uit dat de lezer de werking van het basialgoritme ondertussen goed onder de knie heeft. Vooraleer we echter overgaan tot het uitvoeren van de experimenten, worden de verschillende parameters van het simulatiemodel nog eens opgelijst in sectie 7.1.1.4. Een goed inzicht in deze parameters is immers onontbeerlijk om de verschillende experimenten goed te kunnen interpreteren. Bij ieder experiment zal er ook duidelijk vermeld worden welke parameters we laten variëren.

7.1.1.4 Overzicht parameters

In deze sectie zullen we een overzicht geven van alle parameters die een rol spelen bij het uitvoeren van het simulatiemodel. Tijdens het uitvoeren van de experimenten zal bij ieder experiment een **parametertabel** getoond worden, zodat het duidelijk is voor de lezer welke parameter(s) getest worden. Hierna volgt een overzicht van alle parameters met een korte uitleg en de mogelijke waarden die ze kunnen aannemen.

- Aantal runs: het aantal keer dat het simulatiemodel uitgevoerd wordt. Standaard wordt er met 100 *runs* gewerkt.

- Aantal taken: het aantal taken dat uitgevoerd moet worden.
- Aantal werknemers: het aantal werknemers dat de taken moet uitvoeren.
- Taakkarakteristieken:
 1. Gem. duration: gemiddelde duurtijd van de taken.
 2. Stddev. duration: standaardafwijking van de duurtijd van de taken.
 3. difficulty: moeilijkheid van de taken. Standaard is dit $\text{rand}(0,0;0,9)$, wat wil zeggen dat de moeilijkheid van iedere taak een willekeurig getal tussen 0,0 en 0,9 is.
- Werknemerkenmerken:
 1. estSkillLevel: verwacht vaardigheidsniveau van de werknemers bij de start van de simulatie. Standaard is dit 1 voor alle werknemers.
 2. actualSkillLevel: werkelijk vaardigheidsniveau van de werknemers. Standaard is dit $\text{rand}(0,0;1,0)$, wat wil zeggen dat het werkelijke vaardigheidsniveau van iedere werknemer een willekeurig getal tussen 0,0 en 1,0 is.
 3. timeBusy: aantal tijdseenheden dat een werknemer nog bezig is met het uitvoeren van een bepaalde taak bij de start van de simulatie. Standaard is dit 0 voor alle werknemers aangezien alle werknemers op tijdstip 0 beschikbaar zijn.
- Priority rule taakselectie: Prioriteitsregel die gebruikt wordt om een volgende uit te voeren taak te selecteren. Mogelijkheden: random, SPT, LPT, ...
- Toewijzingsmethode: methode die toegepast wordt om een bepaalde werknemer aan een bepaalde taak toe te wijzen. Mogelijkheden: first-come-first-serve, best-fit, ...
- Learning: ja (als learning mogelijk is), nee (als learning niet mogelijk is).

Het aantal *runs*, het aantal taken en het aantal werknemers zullen, wegens plaatsgebrek, niet opgenomen worden in de parametertabel. Deze parameters wijzigen normaal gezien ook niet gedurende de experimenten en indien dit toch gebeurt, zal dit uitdrukkelijk vermeld worden. Zoals reeds vermeld werd, wordt er **standaard met 100 runs gewerkt**. De performantiemaatstaf die gedurende de experimenten gebruikt wordt i.e. de **totale duurtijd** voor het uitvoeren van alle taken (C_{max}), **wordt bepaald door het gemiddelde te nemen**

van de totale duurtijd die bij iedere *run* geretourneerd wordt. Ook de variatie van de duurtijden over de verschillende *runs* zal, indien relevant, gerapporteerd en besproken worden. De meeste experimenten worden meerdere keren uitgevoerd voor een verschillend aantal taken. **Hierbij varieert het aantal taken tussen 1000 en 10000** (1000, 2000, ..., 10000). Standaard zijn er **100 werknemers beschikbaar** om de taken uit te voeren. Ook de initiële waarde voor *timeBusy* werd niet opgenomen in de parametertabel. Voor alle experimenten is deze waarde immers gelijk aan 0 voor alle werknemers.

Ter illustratie wordt hier de **parametertabel van het eerste experiment** reeds getoond (zie tabel 7.3). Deze tabel maakt duidelijk dat in het eerste experiment de effecten van *learning* bij de first-come-first-serve methode zowel voor korte taken (situatie 1 en 2), als voor lange taken (situatie 3 en 4) uitgetest zullen worden. Ten slotte wensen we erop te wijzen dat de **uit te voeren takenset en de set met werknemers steeds identiek zijn voor beide situaties die getest worden**, tenzij parameters met betrekking tot taakkarakteristieken en/of werknemerskarakteristieken getest worden. Toegepast voor het eerste experiment wil dit zeggen dat in situatie 1 een bepaalde takenset door een bepaalde set werknemers uitgevoerd wordt waarbij *learning* mogelijk is. In situatie 2 wordt dezelfde takenset door dezelfde set werknemers uitgevoerd, maar is *learning* niet mogelijk.

	Taakkarakteristieken			Werknemerskarakteristieken		Priority rule taakselectie	Toewijzings- methode	learning
	Gem. duration	Stdafw. duration	difficulty	estSkillLevel	actualSkillLevel			
1	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
2	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	nee
3	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
4	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	nee

Tabel 7.3: Parametertabel experiment 1

7.1.2 Experimenten

In deze sectie zullen verschillende experimenten uitgevoerd worden met behulp van het basisalgoritme dat in sectie 7.1.1 werd uitgelegd. Deze experimenten worden meestal uitgevoerd **voor korte en voor lange taken**, omdat de duurtijd van de taken een belangrijke invloed heeft op de resultaten van de experimenten. Korte taken hebben een duurtijd van 10 tijdseenheden, lange taken hebben een duurtijd van 500 tijdseenheden. Deze definitie werd overgenomen uit het onderzoek van Campbell & Wu (2007), waardoor we ons onderzoek met

het onderzoek van Campbell & Wu (2007) kunnen vergelijken. Er werd ervoor gekozen om een groot tijdsverschil tussen korte en lange taken te hanteren omdat de verschillen in de performantie van de toewijzingsmethodes bij korte en lange taken dan duidelijk zichtbaar zijn. We zullen in bepaalde experimenten echter ook de gemiddelde duurtijd van de taken en de standaardafwijking van de duurtijd laten variëren.

Zoals reeds vermeld werd, zal de performantie van de verschillende geteste methodes vergeleken worden op basis van de totale duurtijd om alle taken uit te voeren (C_{max}). Om de performantie van de verschillende methodes te vergelijken, zal ook vaak gebruik gemaakt worden van **ratio's**. We zullen hier reeds de algemene definitie van de gebruikte ratio's weergeven, zodat het voor de lezer duidelijk is hoe de gerapporteerde ratio's berekend werden.

$$ratio(x, y) = duurtijd_x / duurtijd_y$$

De experimenten werden opgedeeld in vier secties (secties 7.1.2.1 - 7.1.2.4). In sectie 7.1.2.1 zullen de **effecten van learning** bij de first-come-first-serve en de best-fit methode getest worden. Deze sectie is hoofdzakelijk gebaseerd op het werk van Campbell & Wu (2007) en heeft als hoofddoel om de resultaten van Campbell & Wu (2007) te valideren en een aantal inzichten aan te brengen waar we dan verder op zullen bouwen gedurende de volgende experimenten. In sectie 7.1.2.2 wordt een **hybride methode** (combinatie van first-come-first-serve en best-fit methode) geïntroduceerd en uitvoerig getest. Sectie 7.1.2.3 bestaat uit **een aantal losse experimenten**. In experiment 8 worden centrale en decentrale toewijzing met elkaar vergeleken. In experiment 9 laten we de parameters *estSkillLevel* en *actualSkillLevel* (parameters gerelateerd aan het vaardigheidsniveau van de werknemers) variëren. In experiment 10 worden de effecten van het aantal beschikbare werknemers om de taken uit te voeren, onderzocht. In de laatste sectie (sectie 7.1.2.4) worden er **verschillende priority rules** voor het selecteren van taken en voor het selecteren van werknemers uitgetest.

7.1.2.1 Effecten van learning

In deze eerste set van experimenten zullen de effecten van de mogelijkheid om te leren (*learning*) onderzocht worden. In experiment 1 wordt het **effect van learning bij de first-come-first-serve methode** getest. In experiment 2 wordt de **learning first-come-first-serve methode vergeleken met de learning best-fit methode**. De *non-learning*

first-come-first-serve methode wordt niet vergeleken met de *non-learning* best-fit methode omdat beide methodes identiek zijn. Wanneer er geen *learning* mogelijk is, blijft het *estSkillLevel* van de werknemers immers op 1 staan en is de toewijzingsmethode die de best-fit methode hanteert identiek aan de toewijzingsmethode van de first-come-first-serve methode. In experiment 3 wordt het **leerproces van de first-come-first-serve methode vergeleken met het leerproces van de best-fit methode**. Dit gebeurt door het gemiddeld verschil tussen het *estSkillLevel* en het *actualSkillLevel* van de werknemers doorheen de tijd te bestuderen. In experiment 4 wordt hetzelfde leerproces bestudeert, maar nu door te kijken naar de geleerde hoeveelheid per tijdseenheid. Op het einde van deze sectie zullen we de belangrijkste conclusies van de eerste experimenten oplijsten en zal het opzet van de volgende sets van experimenten (sectie 7.1.2.2 - 7.1.2.4) besproken worden.

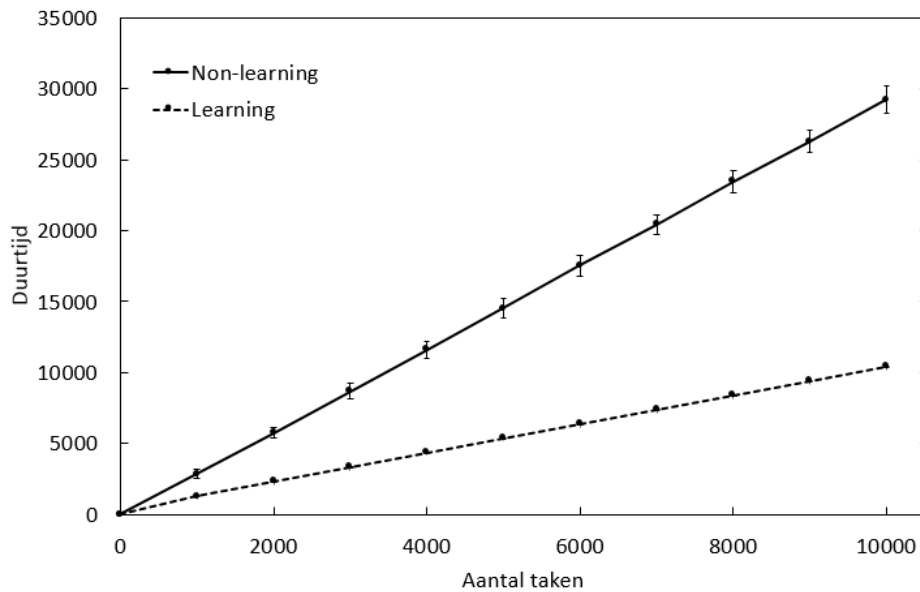
Experiment 1: Effect van *learning* bij *first-come-first-serve*

In een eerste set van experimenten zullen we de ***learning first-come-first-serve methode*** vergelijken met de ***non-learning first-come-first-serve methode***. Hierbij willen we de effecten van *learning* op de toewijzingsmethode achterhalen. De experimenten worden telkens uitgevoerd met een set van 100 werknemers. De duurtijd voor het uitvoeren van alle taken wordt bepaald door het gemiddelde te nemen van 100 *runs* van het model. Deze testcondities gelden voor alle experimenten uit sectie 7.1.2, tenzij anders vermeld.

De **parametertabel** (zie tabel 7.3) voor dit experiment werd reeds in sectie 7.1.1.4 getoond. Hierin werden alle relevante parameterwaarden voor dit experiment opgelijst. De parametertabel geeft duidelijk weer dat we hier zowel voor korte als voor lange taken, de *learning first-come-first-serve methode* zullen vergelijken met de *non-learning first-come-first-serve methode*.

Korte taken. In figuur 7.4 worden de *learning* en *non-learning* methode vergeleken wanneer de duurtijd van elke taak 10 tijdseenheden bedraagt. Het aantal taken werd telkens met 1000 eenheden verhoogd. Voor iedere hoeveelheid taken wordt de **gemiddelde duurtijd** van de 100 *runs* en de **variatie** (*gemiddelde* + / - $3 \times$ *standaardafwijking*) weergegeven. De ***learning first-come-first-serve methode*** presteert **duidelijk beter** dan de *non-learning first-come-first-serve methode*. Hoe groter het aantal uit te voeren taken is, hoe

groter de afstand tussen beide lijnen. Dit wijst erop dat de **positieve effecten van learning toenemen met het aantal uit te voeren taken**. Merk verder op dat de variatie in de duurtijd tussen de verschillende runs bij de non-learning methode veel groter is dan bij de learning methode (waar er bijna geen variatie is, zie figuur 7.4). Dit wijst erop dat het resultaat bij de **non-learning methode veel meer van toeval afhangt dan bij de learning methode**.

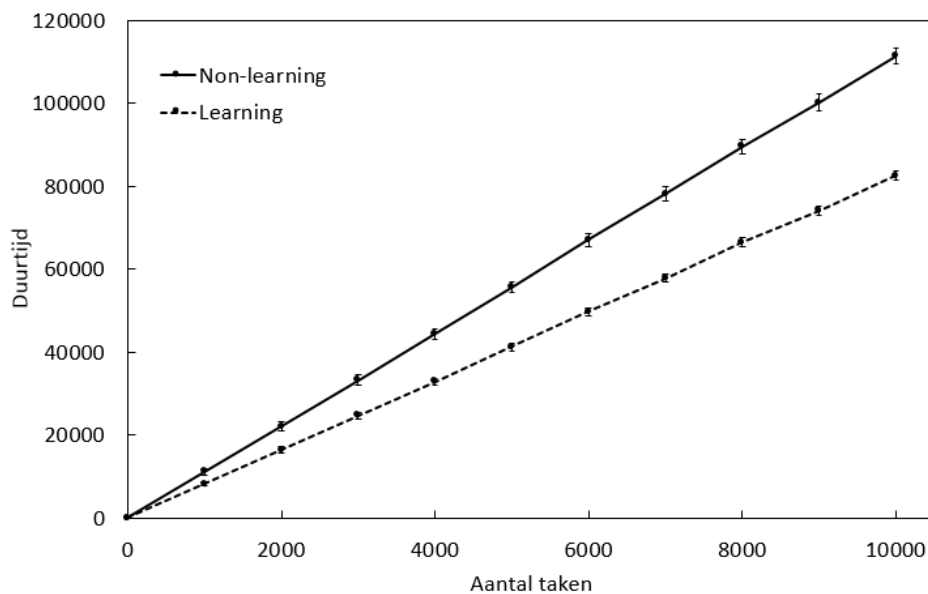


Figuur 7.4: Learning vs. non-learning first-come-first-serve met duurtijd taken 10 tijdseenheden

Lange taken. Op figuur 7.5 ziet u wat er gebeurt wanneer we de duurtijd van de taken gevoelig verhogen (van 10 tijdseenheden naar 500 tijdseenheden). Werknemers zijn nu veel langer bezig met één taak. Hierdoor is het toewijzen van een werknemer met een hoog *actualSkillLevel* aan een éénvoudige taak (lage *difficulty*) zeer nadelig. Deze werknemer zal immers gedurende 500 tijdseenheden bezig zijn met een te éénvoudige taak waardoor er problemen kunnen optreden om werknemers te vinden met een hoog *actualSkillLevel* om de moeilijke taken (hoge *difficulty*) uit te voeren. Bij een duurtijd van de taken van 10 tijdseenheden was dit minder erg aangezien werknemers dan snel terug beschikbaar waren voor een nieuwe taak.

Het is duidelijk dat de lijnen van de learning en non-learning methode bij figuur 7.5 veel dichter bij elkaar liggen dan bij figuur 7.4. Dit wijst erop dat het **voordeel van de learning methode ten opzichte van de non-learning methode afneemt wanneer de duur-**

tijd van de taken toeneemt. De hoofdreden hiervoor is de inefficiënte manier waarop de werknemers bij de first-come-first-serve methode aan taken worden toegewezen. Doordat deze methode willekeurig werknemers toewijst, zijn de voordelen van *learning* beperkt. Verder zorgen de lange taken ervoor dat het leerproces trager zal verlopen. Hierbij wensen we nogmaals te benadrukken dat het **leerproces in dit algoritme betrekking heeft op een verandering van het *estSkillLevel* van de werknemers** (het *estSkillLevel* komt steeds dichterbij het *actualSkillLevel* te liggen). Deze veranderingen worden doorgevoerd wanneer een bepaalde werknemer een taak niet kan uitvoeren (zie ook sectie 7.1.1). **Het *actualSkillLevel* van de werknemers blijft constant. We houden dus geen rekening met een mogelijke stijging van het vaardigheidsniveau naarmate een werknemer langer aan het werk is en/of meer taken uitgevoerd heeft.** Meer uitleg over de beschikbare literatuur rond “leren” en de positionering van het leerproces dat hier gebruikt wordt binnen deze literatuur, is beschikbaar in hoofdstuk 4, sectie 4.3.



Figuur 7.5: Learning vs. non-learning first-come-first-serve met duurtijd taken 500 tijdseenheden

Tabel 7.4 toont een **ratioanalyse**¹ waarbij de duurtijden van de non-learning methode vergeleken worden met de learning methode voor verschillende experimenten. Er werden verschillende combinaties met betrekking tot het aantal taken en de duurtijd van een taak getest. Wanneer er slechts 20 taken uitgevoerd moeten worden, is er geen significant verschil tussen

¹ $ratio(non - learning, learning) = duurtijd_{non-learning} / duurtijd_{learning}$

de twee methodes². Vanaf 100 uit te voeren taken, is er wel een significant verschil tussen de twee methodes. De gemiddelde duurtijd van de non-learning methode is dan duidelijk langer dan deze van de learning methode.

Wanneer de duurtijd van de taken kort is (10 tijdseenheden), zien we dat de voordelen van de learning methode, bij een stijging van het aantal taken, zeer snel toenemen (zie tweede kolom van tabel 7.4 en figuur 7.4). Dit wijst erop dat het bij korte taken misschien niet nodig is om een meer gesofisticeerde toewijzingsmethode te gebruiken. We zullen dit onderzoeken met een tweede set van experimenten (zie experiment 2). **Wanneer de taken langer duren zijn de voordelen van learning beperkt** (zie laatste kolom van tabel 7.4 en figuur 7.5). De oorzaken hiervan werden reeds vermeld bij de bespreking van figuur 7.5.

	Duurtijd taken		
Aantal taken	10	100	500
20	1,067	1,079	1,016
100	1,398	1,409	1,298
200	1,573	1,674	1,233
1000	2,219	2,313	1,348
5000	2,702	2,569	1,349
10000	2,810	2,607	1,349

Tabel 7.4: Ratioanalyse non-learning vs. learning (ratio(non-learning,learning))

²Om te onderzoeken of de gemiddelde duurtijden van beide methodes significant van elkaar verschillen, werden ze vergeleken door middel van een independent samples t-test. Deze testen werden uitgevoerd met het statistische softwareprogramma SPSS. Voorbeeld: de p-waarde van de t-test waarbij de gemiddeldes van de non-learning en de learning methode met elkaar vergeleken worden, bedraagt 0,21 voor 20 taken met een duurtijd van 10 tijdseenheden. Aangezien deze waarde groter is vanaf dan 0,05 (we gebruiken een significantieniveau van 5%) kunnen we de nulhypothese (de gemiddeldes van beide methodes zijn gelijk) niet verwerpen. Wanneer er 100 taken of meer uitgevoerd moeten worden, zijn de verschillen tussen beide methodes wel significant.

Experiment 2: Vergelijking *learning first-come-first-serve methode* met *learning best-fit methode*

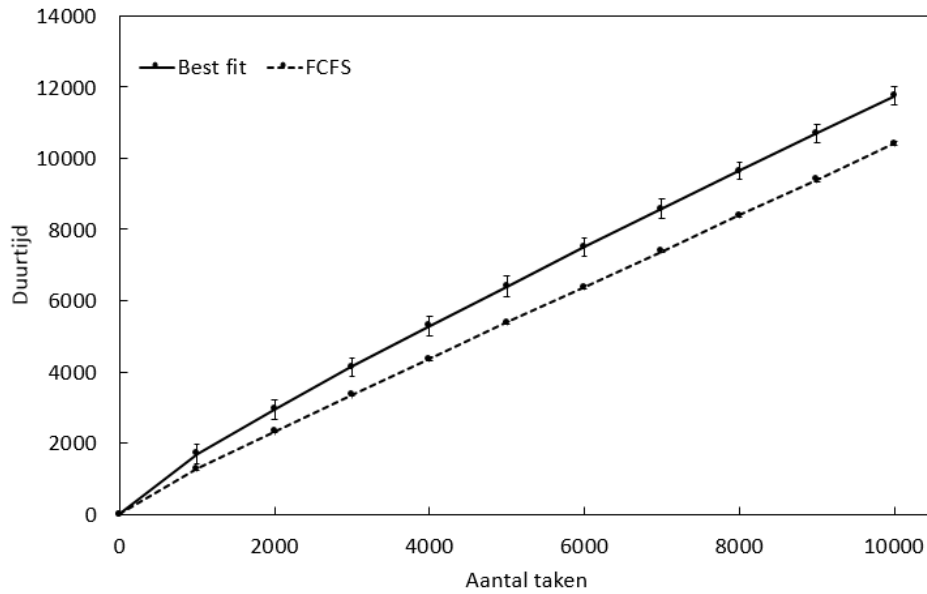
In een tweede set van experimenten zullen we de *learning first-come-first-serve methode*, die in de eerste set van experimenten reeds onder loep genomen werd, **vergelijken met de *learning best-fit methode***. Bij beide methodes gaan we er dus van uit dat er *learning* mogelijk is³. De experimenten worden andermaal afzonderlijk uitgevoerd **voor korte en voor lange taken**. Alle informatie met betrekking tot de waarden van de parameters is beschikbaar in tabel 7.5. De experimenten zullen opnieuw uitgevoerd worden voor een set van 100 werknemers en de resultaten zullen andermaal gebaseerd zijn op de uitkomsten van 100 *runs*. Door telkens dezelfde werkwijze te gebruiken, kunnen we de geteste methodes gemakkelijk vergelijken.

	Taakkarakteristieken			Werknemerskarakteristieken		Priority rule taakselectie	Toewijzings- methode	learning
	Gem. duration	Stdafw. duration	difficulty	estSkillLevel	actualSkillLevel			
1	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
2	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	ja
3	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
4	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	ja

Tabel 7.5: Parametertabel experiment 2

Bij **korte taken** (duurtijd = 10 tijdseenheden) presteert de *learning first-come-first-serve methode* **duidelijk beter dan de *learning best-fit methode*** (zie figuur 7.6). Dit komt doordat het leerproces bij de best-fit methode gehinderd wordt door de manier waarop werknemers aan taken toegewezen worden. We zullen dit hierna aantonen met een ander experiment (zie experiment 3).

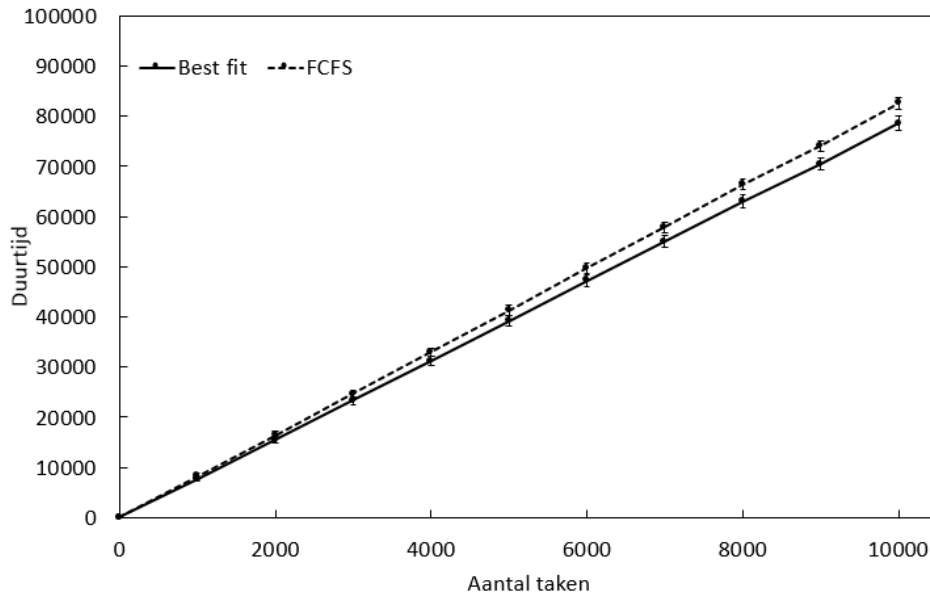
³Wanneer er geen *learning* mogelijk is, is de toewijzingsmethode die de best-fit methode hanteert gelijkaardig aan deze van de first-come-first-serve methode aangezien het *estSkillLevel* van alle werknemers op 1 blijft staan.



Figuur 7.6: First-come-first-serve vs. Best fit met duurtijd taken 10 tijdseenheden

Bij **lange taken** (duurtijd = 500 tijdseenheden) scoort de *learning best-fit methode* **beter** dan de *learning first-come-first-serve methode* (zie figuur 7.7). Hier zijn de nadelen van het niet efficiënt toewijzen van werknemers aan taken immers groter dan bij korte taken (cfr. supra). Aangezien de best-fit methode werknemers op een efficiëntere manier toewijst⁴ dan de first-come-first-serve methode, presteert ze hier beter.

⁴De best-fit methode is efficiënter dan de first-come-first-serve methode aangezien bij de best-fit methode gezocht wordt naar de werknemer waarvan het *estSkillLevel* het dichtst aansluit bij de *difficulty* van de taak. Bij de first-come-first-serve methode hebben alle werknemers met een *estSkillLevel* dat groter is dan de *difficulty* van de taak evenveel kans om geselecteerd te worden.



Figuur 7.7: First-come-first-serve vs. Best fit met duurtijd taken 500 tijdseenheden

Experiment 3: Vergelijking leerproces *first-come-first-serve methode* en *best-fit methode*

In een volgende set van experimenten zullen we aantonen dat het **leerproces gehinderd wordt bij de best-fit methode**. Wanneer het verschil tussen *estSkillLevel* en *actualSkillLevel* klein is voor een bepaalde werknemer, betekent dit dat deze werknemer geleerd heeft wat zijn vaardigheden zijn (op een schaal tussen 0,0 en 1,0). We zullen dit verschil dan ook van naderbij bestuderen. Hiervoor voeren we **5 runs** uit **waarbij 100 werknemers 10000 taken (duurtijd = 10 tijdseenheden) uitvoeren**. Voor ieder tijdstip t houden we het gemiddelde verschil⁵ tussen *estSkillLevel* en *actualSkillLevel* bij. Hoe sneller dit gemiddelde verschil daalt, hoe sneller het leerproces verloopt.

De **parametertabel** voor dit experiment (zie tabel 7.6) is vrijwel identiek aan de parametertabel van experiment 2 (zie tabel 7.5). **Ook nu zal de *learning first-come-first-serve methode* vergeleken worden met de *learning best-fit methode***. Het enige verschil is dat we het leerproces hier **enkel voor korte taken** (duurtijd = 10 tijdseenheden) zullen bestuderen. Er werd ervoor gekozen om deze experimenten enkel voor korte taken uit te voeren, omdat in experiment 2 werd aangetoond dat de *learning first-come-first-serve methode* beter

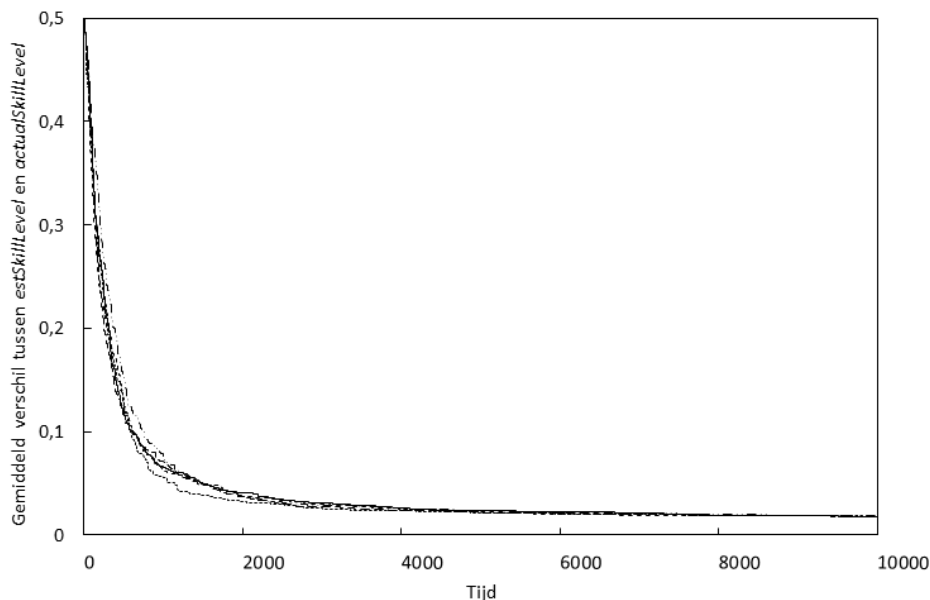
⁵Gemiddelde verschil = $\frac{\sum_{E_i=1}^{100} (E_i.estSkillLevel - E_i.actualSkillLevel)}{100}$ met $E_i = \text{werknemer } i, i \in (1, \dots, 100)$

presteert dan de *learning best-fit methode* bij korte taken. Als mogelijke verklaring werd toen aangehaald dat het leerproces bij de first-come-first-serve methode sneller verloopt dan bij de best-fit methode. In experiment 3 zullen we aantonen dat dit inderdaad zo is.

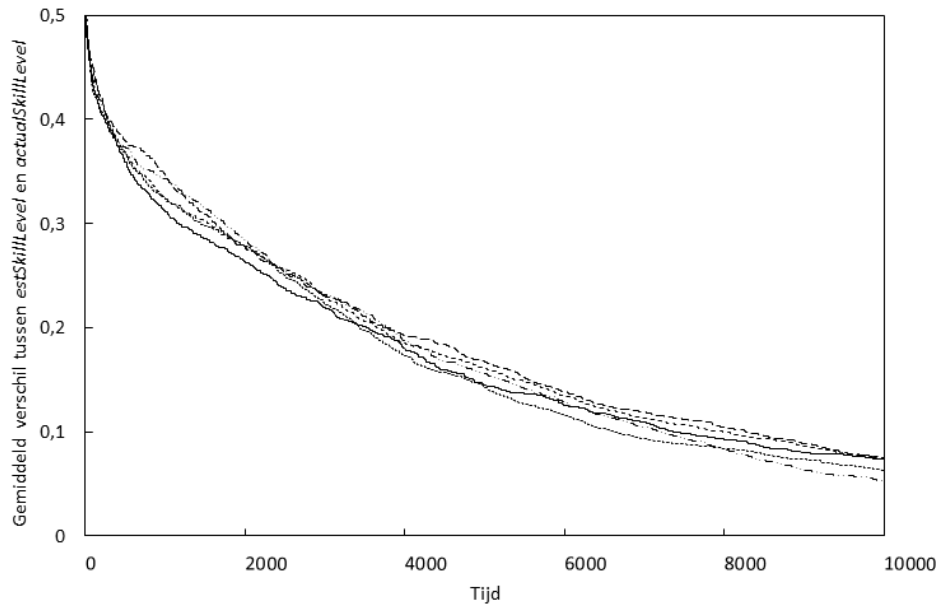
	Taakkarakteristieken			Werknemerskarakteristieken		Priority rule taakselectie	Toewijzings- methode	learning
	Gem. duration	Stdafw. duration	difficulty	estSkillLevel	actualSkillLevel			
1	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
2	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	ja

Tabel 7.6: Parametertabel experiment 3

Figuur 7.8 geeft het leerproces voor de first-come-first-serve methode weer, figuur 7.9 voor de best-fit methode. Bij de **first-come-first-serve methode** daalt het verschil tussen *estSkillLevel* en *actualSkillLevel* zeer snel en benadert dan asymptotisch de nulwaarde. De curve van de **best-fit methode** daalt veel minder snel. Na 10000 tijdseenheden is de curve bovendien nog behoorlijk ver van de nulwaarde verwijderd. Deze bevindingen tonen aan dat het leerproces bij de **first-come-first-serve methode** veel sneller verloopt dan bij de **best-fit methode**. De selectieprocedure die bij de best-fit methode gebruikt wordt, zorgt ervoor dat het leerproces vertraagd wordt. Deze vaststelling zullen we in de volgende paragraaf proberen te verklaren.



Figuur 7.8: Leereffect bij first-come-first-serve methode



Figuur 7.9: Leereffect bij best-fit methode

De oorzaak van het **tragere leerproces bij de best-fit methode** moet gezocht worden in de manier waarop de toewijzing van werknemers plaats vindt. We zullen dit aantonen aan de hand van een voorbeeld. Stel dat aan het begin van een nieuwe *run*, een werknemer E met een *actualSkillLevel* van 0,30 geselecteerd wordt om een taak met *difficulty* 0,75 uit te voeren. Omdat werknemer E de taak niet kan uitvoeren zal hij zijn *estSkillLevel* veranderen naar 0,75. Veronderstel dat in de volgende tijdsperiode een taak met *difficulty* 0,70 uitgekozen wordt. Wanneer de **first-come-first-serve methode** gebruikt wordt, hebben alle 100 werknemers evenveel kans om aan deze taak toegewezen te worden aangezien het *estSkillLevel* van alle werknemers groter is dan de *difficulty* van de taak. De kans is dus groot dat de werknemer die uitgekozen werd om de eerste taak uit te voeren, niet zal gekozen worden om de tweede taak uit te voeren. Aangezien het *actualSkillLevel* van de werknemers een willekeurige waarde tussen 0,0 en 1,0 is, zal ongeveer 30% van de werknemers in staat zijn om de taak uit te voeren. De kans is dus groot (ongeveer 70%) dat de werknemer die uitgekozen wordt op basis van de first-come-first-serve methode een *estSkillLevel* van 1,0 en een *actualSkillLevel* van minder dan 0,70 zal hebben. De geselecteerde werknemer is bijgevolg niet in staat om de taak uit te voeren en verandert zijn *estSkillLevel* naar 0,70. Na twee iteraties, zal er dus één werknemer zijn met een *estSkillLevel* van 0,75 en één werknemer met een *estSkillLevel* van 0,70.

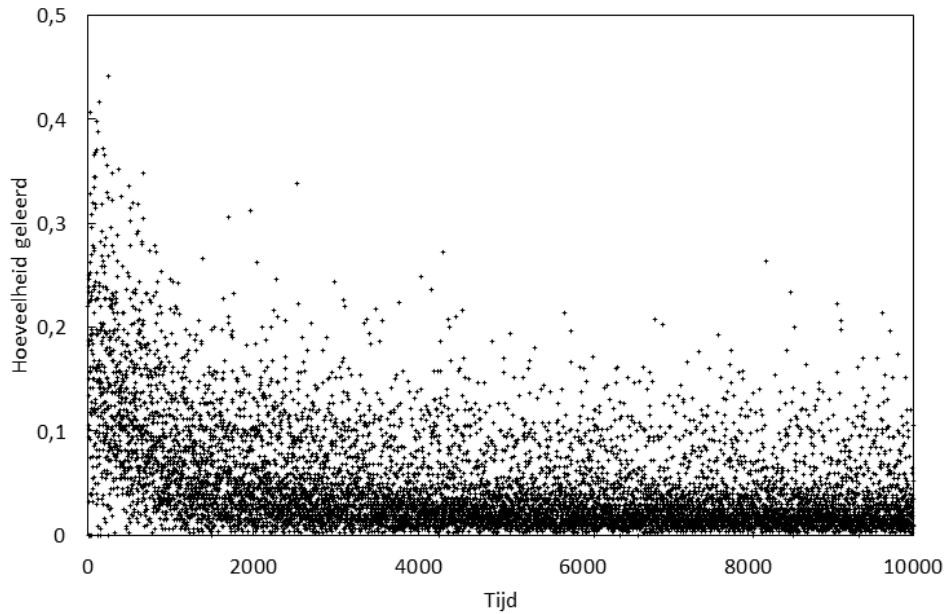
Wat zou er nu gebeurd zijn wanneer de **best-fit methode** werd toegepast? Na de eerste iteratie zou de geselecteerde werknemer zijn *estSkillLevel* veranderen naar 0,75. In de tweede iteratie zou dezelfde werknemer geselecteerd worden, aangezien zijn *estSkillLevel* het dichtst bij de *difficulty* van de taak ligt. De werknemer kan de taak echter niet uitvoeren en verandert zijn *estSkillLevel* naar 0,70. Na twee iteraties bij de best-fit methode zou er dus één werknemer met een *estSkillLevel* van 0,70 zijn, terwijl al de andere werknemers nog steeds een *estSkillLevel* van 1,0 hebben. Gemiddeld gezien, zouden bij de first-come-first-serve methode dus 2 werknemers bijgeleerd hebben, terwijl dit bij de best-fit methode slechts één werknemer is. **Doordat de first-come-first-serve methode meer werknemers de kans geeft om aan taken toegewezen te worden, zal het leerproces sneller verlopen.** In een laatste set van experimenten zullen we de validiteit van deze verklaring testen.

Experiment 4: Vergelijking hoeveelheid geleerd doorheen de tijd *first-come-first-serve methode* en *best-fit methode*

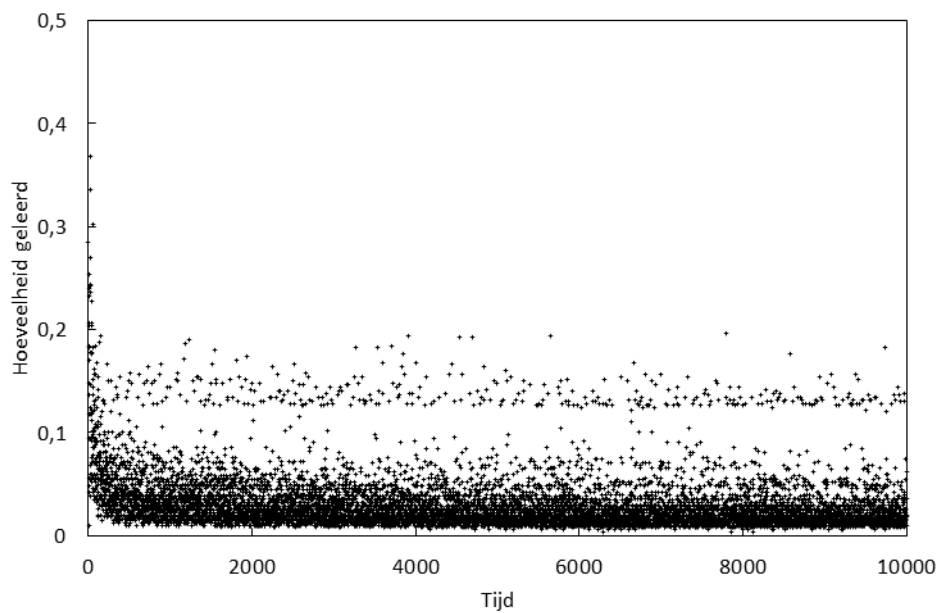
In deze set van experimenten zullen we aantonen dat er **meer en sneller geleerd** wordt **bij de first-come-first-serve methode dan bij de best-fit methode**. We zullen iedere keer dat een werknemer zijn *estSkillLevel* aanpast, de *amountLearned* (= *estSkillLevel* - *difficulty*) bijhouden. We doen dit voor **5 runs van 100 werknemers die 10000 taken (duurtijd = 10 tijdseenheden) uitvoeren**. Hierna berekenen we de gemiddelde *amountLearned* per tijdseenheid t over de 5 runs. Voor de andere parameterwaarden van dit experiment verwijzen we u door naar de parametertabel van experiment 3 (zie tabel 7.6). De gebruikte parameterwaarden zijn immers identiek.

Figuur 7.10 toont de resultaten voor de first-come-first-serve methode, figuur 7.11 voor de best-fit methode. Grote waarden voor *amountLearned* wijzen erop dat de werknemers veel leren. **Bij de first-come-first-serve methode zien we dat er snel en veel geleerd wordt.** De waarden voor *amountLearned* nemen na de piek in de beginperiode geleidelijk aan af (grotere concentratie bij lage waarden voor *amountLearned*). **Bij de best-fit methode verloopt het leerproces veel trager en wordt er minder geleerd.** De waarden van *amountLearned* bij de best-fit methode zijn gemiddeld gezien veel lager dan bij de first-come-first-serve methode. Dit wijst erop dat er minder geleerd wordt. Bovendien is de piek van *amountLearned* in het begin veel minder expliciet dan bij de first-come-first-serve methode.

Dit wijst erop dat er minder snel geleerd wordt. De waarden voor *amountLearned* blijven bij de best-fit methode min of meer constant doorheen de tijd.



Figuur 7.10: Hoeveelheid geleerd per tijdseenheid first-come-first-serve methode



Figuur 7.11: Hoeveelheid geleerd per tijdseenheid best-fit methode

Conclusies experimenten 1 tem 4

Zonet hebben we vier sets van experimenten uitgevoerd om een beter zicht te krijgen op de kenmerken van het *multi-agent task allocation problem* (toewijzen van een set werknemers aan een set taken). Er werd gefocust op de effecten van *learning* bij de first-come-first-serve en de best-fit methode. Hierbij gingen we ervan uit dat de werknemers initieel geen zicht hadden op hun eigen vaardigheidsniveau. De eerste set van experimenten toonde het verschil tussen de **first-come-first-serve methode met en zonder *learning***. Hierbij werd aangetoond dat de **learning methode significant betere resultaten** oplevert dan de non-learning methode bij korte taken (duurtijd = 10 tijdseenheden). Wanneer de duurtijden van de taken echter verlengd werden (duurtijd = 500 tijdseenheden) namen de voordelen van de *learning* methode gevoelig af.

In een tweede set van experimenten werd de **first-come-first-serve methode vergeleken met de best-fit methode**. Dit is een meer gesofisticeerde methode, die werknemers op een efficiëntere manier aan taken toewijst. De mogelijkheid met *learning* werd van naderbij bestudeerd. **Bij korte taken presteerde de first-come-first-serve methode beter dan de best-fit methode**. Dit wijst erop dat de best-fit methode het leerproces van de werknemers zodanig vertraagt dat de voordelen van de efficiëntere toewijzingsmethode niet zichtbaar zijn. **Bij lange taken presteerde de best-fit methode wel beter dan de first-come-first-serve methode**. Hier overweegt het voordeel van het efficiënter toewijzen wel op het nadeel van het trager leerproces.

In een derde set van experimenten werd aangetoond dat het **leerproces veel trager verloopt bij de best-fit methode** dan bij de first-come-first-serve methode. De manier waarop werknemers aan taken toegewezen worden zorgt er immers voor dat deze werknemers hun *estSkillLevel* veel minder snel aanpassen dan bij de first-come-first-serve methode. **Bij de best-fit methode wordt er ook minder geleerd** dan bij de first-come-first-serve methode. Na het uitvoeren van 10000 taken is het gemiddeld verschil tussen het *estSkillLevel* en *actualSkillLevel* van de werknemers duidelijk groter bij de best-fit methode.

De vierde set van experimenten werd uitgevoerd om de conclusies van de derde set van experimenten te ondersteunen. Door de *amountLearned* uit te zetten ten opzichte van de

tijd, werd duidelijk zichtbaar dat er inderdaad sneller en meer geleerd wordt bij de first-come-first-serve methode.

Op basis van deze resultaten, die in overeenstemming zijn met de resultaten van Campbell & Wu (2007), kunnen we concluderen dat de **first-come-first-serve methode toelaat dat de werknemers snel hun vaardigheidsniveau (*actualSkillLevel*) accuraat leren inschatten**. Nadat de werknemers hun *estSkillLevel* voldoende aangepast hebben, wordt deze kennis echter te weinig gebruikt bij het toewijzen van de werknemers aan de taken. **De best-fit methode wijst de werknemers op een veel efficiëntere manier toe aan de taken**, maar doordat het leerproces gehinderd wordt, zijn de voordelen van de best-fit methode bij korte taken beperkt. Bij langere taken zijn de voordelen van de best-fit methode wel duidelijk zichtbaar.

Opzet volgende experimenten

In deze sectie zal het verdere verloop van de experimenten beschreven worden. De keuze voor de experimenten die nog uitgevoerd zullen worden, werd gemaakt op basis van een grondige analyse van de resultaten van de eerste 4 experimenten, de suggesties tot verder onderzoek van Campbell & Wu (2007) en een grondige studie van de parameters van het model.

Tijdens de eerste vier experimenten kwamen een aantal voordelen, maar ook nadelen van de first-come-first-serve en de best-fit methode aan het licht. De ideale toewijzingsmethode zou dus misschien wel een **hybride methode** kunnen zijn. Hierbij worden de first-come-first-serve en best-fit methode gecombineerd. Men kan bijvoorbeeld in het begin de first-come-first-serve methode toepassen, zodat er snel geleerd wordt. Wanneer het *estSkillLevel* van de werknemers voldoende accuraat is, kan er overgeschakeld worden naar de best-fit methode waar men op basis van deze kennis de werknemers op een efficiënte manier kan toewijzen aan taken. De hybride methode zal uitgetest worden in sectie 7.1.2.2.

Na deze experimenten met betrekking tot de hybride methode zullen in sectie 7.1.2.3 een aantal **losse experimenten** uitgevoerd worden, waarbij verschillende interessante situaties getest worden. Zo gingen we er in bovenstaand basismodel vanuit dat alle werknemers alle taken konden uitvoeren (als hun *actualSkillLevel* hoog genoeg is). De werknemers werden via een centraal gecontroleerd systeem toegewezen aan de set van taken (*DUTIES*). In de

realiteit gebeurt de toewijzing van werknemers aan taken binnen een onderneming meestal op afdelingsniveau. De taken worden opgedeeld per afdeling en enkel werknemers die op deze afdeling werken, kunnen deze taken uitvoeren. Dit is ook het geval voor Delhaize Watersportbaan. In experiment 8 zullen we **gecentraliseerde toewijzing vergelijken met gedecentraliseerde toewijzing**. In experiment 9 worden de parameters met betrekking tot het **vaardigheidsniveau van de werknemers** (*estSkillLevel* en *actualSkillLevel*) onder de loep genomen. Er worden verschillende mogelijkheden getest en met elkaar vergeleken. Bovendien wordt er getest of de effecten van *learning* nog steeds hetzelfde zijn wanneer we deze parameters wijzigen. In experiment 10 wordt de invloed van **het aantal werknemers** op de totale duurtijd voor het uitvoeren van alle taken onderzocht.

In sectie 7.1.2.4 wordt de performantie van verschillende **priority rules**⁶ voor taakselectie en werknemersselectie getest. In experiment 11 worden verschillende priority rules voor het **selecteren van de toe te wijzen taak** vergeleken. In alle andere experimenten worden de taken in een willekeurige volgorde uitgevoerd, maar in experiment 11 testen we of dit wel de beste optie is. In het laatste experiment (experiment 12) wordt er onderzocht of er **andere toewijzingsmethodes** zijn die, binnen het gebruikte testdesign, beter presteren dan de first-come-first-serve en/of best-fit methode.

7.1.2.2 Hybride methode

In deze sectie zullen we onderzoeken of het gebruik van een hybride methode, waarbij de voordelen van de first-come-first-serve en best-fit methode gecombineerd worden, betere resultaten oplevert dan wanneer de first-come-first-serve en best-fit methode afzonderlijk gebruikt worden. In experiment 5 wordt de **hybride methode geïntroduceerd** en wordt de performantie van deze methode vergeleken met de performantie van de first-come-first-serve en best-fit methode bij korte, middellange en lange taken. In experiment 6 gaan we op een gestructureerde manier op zoek naar de **ideale overgangswaarde**, het tijdstip waarop er overgeschakeld wordt van de first-come-first-serve methode naar de best-fit methode. In experiment 7, tot slot, laten we de **duurtijden van de taken variëren** en onderzoeken we welke effecten dit heeft op de performantie van de first-come-first-serve, best-fit en hybride

⁶Voor een theoretische bespreking van priority rules bij taakselectie en werknemersselectie zie deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 4, secties 4.2.1 en 4.2.2.

methode. We testen ook welke toewijzingsmethode, first-come-first-serve of best-fit, het best presteert wanneer er zowel korte als lange taken uitgevoerd moeten worden.

Experiment 5: Vergelijking hybride methode tov FCFS en Best-fit⁷

In deze set van experimenten testen we de **hybride methode** uit. Hierbij wordt eerst de FCFS methode⁸ toegepast en op een bepaald tijdstip wordt dan overgeschakeld naar de best-fit methode. Er wordt gestart met de FCFS methode omdat voorgaande experimenten aangetoond hebben dat er sneller geleerd wordt bij deze methode. Vervolgens wordt dan overgeschakeld op de best-fit methode omdat deze de werknemers op een efficiëntere manier toewijst. **Een belangrijke vraag is natuurlijk wanneer deze overgang het best gebeurt.** Om dit te bepalen zullen we dit punt laten variëren. Starten met de best-fit methode en dan overschakelen op de FCFS methode is geen goed idee. De geleerde hoeveelheid in het begin heeft immers een grote invloed op de latere toewijzingen en die geleerde hoeveelheid is groter wanneer de FCFS methode eerst wordt toegepast. Hierdoor is de totale duurtijd voor het uitvoeren van alle taken duidelijk lager wanneer eerst de FCFS methode gebruikt wordt en dan overgeschakeld wordt op de best-fit methode dan wanneer dit omgekeerd gebeurt. Zoals blijkt uit de parametertabel (zie tabel 7.7) zullen we de experimenten deze keer niet enkel voor **voor korte en lange taken, maar ook voor middellange taken** (duurtijd = 100 tijdseenheden) uitvoeren.

⁷Vanaf experiment 5 zullen we de variatie van de runs (afwijking ten opzichte van het gemiddelde) niet meer weergeven op de grafieken. We doen dit om de grafieken overzichtelijk te houden. Wanneer er opmerkelijke verschillen zijn tussen de variaties van de geteste toewijzingsmethodes zal dit vermeld worden. We gaan er vanaf experiment 5 ook telkens van uit dat *learning* mogelijk is, tenzij dit anders vermeld wordt.

⁸Omdat we menen dat de lezer reeds voldoende vertrouwd is met de terminologie zullen we in het vervolg van deze thesis de afkorting FCFS methode gebruiken voor de first-come-first-serve methode.

	Taakarakteristieken			Werknemerskarakteristieken		Priority rule taakselectie	Toewijzings- methode	learning
	Gem. duration	Stdafw. duration	difficulty	estSkillLevel	actualSkillLevel			
1	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
2	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	ja
3	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Hybride	ja
4	100	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
5	100	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	ja
6	100	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Hybride	ja
7	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
8	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	ja
9	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Hybride	ja

Tabel 7.7: Parametertabel experiment 5

Omdat tijdens het uitvoeren van de experimenten bleek dat de verschillen tussen de performantie van bepaalde methodes zeer klein zijn en dus niet duidelijk zichtbaar zijn op een grafiek, zullen we de resultaten hier vergelijken op basis van een **ratioanalyse**.

Bij **korte taken** (duurtijd = 10 tijdseenheden) presteerde de FCFS methode duidelijk beter dan de best-fit methode (zie sectie 7.1.2.1, experiment 2, figuur 7.6), **de FCFS methode zal dan ook als benchmark gebruikt worden**. In de ratioanalyse zullen we de performantie van de andere geteste methodes (i.e. de totale duurtijd om alle taken uit te voeren) vergelijken met de performantie van de FCFS methode (ratio(geteste methode,FCFS)). Voor de best-fit methode worden de ratio's dus als volgt berekend: $ratio(best - fit, FCFS) = duurtijd_{best-fit} / duurtijd_{FCFS}$. De ratio's voor de hybride methodes worden op een analoge manier berekend. Deze ratio's worden telkens voor een bepaalde hoeveelheid taken weergegeven en in de onderste rij wordt het gemiddelde van alle ratio's van een bepaalde methode berekend. Ratio's kleiner dan 1 wijzen op een betere performantie dan de FCFS methode, ratio's groter dan 1 wijzen op een slechtere performantie.

In een eerste experiment zullen we testen of een hybride methode beter presteert dan de FCFS methode bij korte taken. Tabel 7.8 toont de resultaten. Als eerste overgangswaarde werd $t = 635$ genomen (i.e. de Hybrid 635 methode). Deze waarde werd gekozen op basis van figuur 7.8 (zie sectie 7.1.2.1, experiment 3), waar te zien is dat het gemiddeld verschil tussen *estSkillLevel* en *actualSkillLevel* op $t = 635$ slechts 0,1 bedraagt. Dit wil zeggen dat wanneer de FCFS methode toegepast wordt, er reeds een zeer grote hoeveelheid geleerd wordt voor $t = 635$. De hybride methode test nu of de best-fit methode na $t = 635$ gebruik kan maken van de geleerde hoeveelheid voor $t = 635$. We zien in tabel 7.8 dat deze hybride methode duidelijk

beter presteert dan de best-fit methode, maar slechter dan de FCFS methode. Wanneer we de overgangswaarde verder in de tijd leggen (zie ratio's voor Hybrid 1000 en Hybrid 2000), zien we dat de ratio's steeds dichterbij de waarde 1 en dus de performantie van de FCFS methode benaderen. Deze trend zet zich ook verder bij grotere overgangswaarden (vb. $t = 5000$). De ratio's blijven echter steeds groter dan (of gelijk aan) 1. Dit wijst erop dat **bij korte taken de FCFS methode steeds de beste resultaten oplevert**. Tot slot willen we er nog op wijzen dat de ratio van de Hybrid 2000 methode bij 1000 taken gelijk is aan 1,000 omdat deze methode bij 1000 taken overeenkomt met de FCFS methode. De 1000 taken zijn immers reeds afgerond vooraleer $t = 2000$ wordt bereikt en er werd dus nog niet overgeschakeld naar de best-fit methode.

Aantal taken	Duurtijd		Ratio		
	FCFS	Best fit	Hybrid 635	Hybrid 1000	Hybrid 2000
1000	1279	1,328	1,189	1,105	1,000
2000	2326	1,266	1,128	1,086	1,037
3000	3352	1,233	1,095	1,061	1,032
4000	4369	1,211	1,078	1,048	1,025
5000	5378	1,190	1,062	1,040	1,017
6000	6383	1,176	1,055	1,034	1,015
7000	7391	1,161	1,047	1,028	1,013
8000	8394	1,149	1,042	1,025	1,010
9000	9400	1,139	1,038	1,021	1,009
10000	10402	1,130	1,034	1,019	1,008
Gemiddelde		1,198	1,077	1,047	1,017

Tabel 7.8: Ratioanalyse FCFS vs. Best fit en Hybrid (ratio(...,FCFS)) met duurtijd taken 10 tijdseenheden

Bij **lange taken** (duurtijd = 500 tijdseenheden) presteerde de best-fit methode beter dan de FCFS methode (zie sectie 7.1.2.1, experiment 2, figuur 7.7). In een tweede experiment werd er dan ook getest of een hybride methode beter presteert dan de best-fit methode. De resultaten toonden echter aan dat dit niet het geval is. Dus **zowel voor korte als lange taken biedt de hybride methode geen voordelen ten opzichte van de eerder gevonden “optimale” oplossingen** (FCFS voor korte taken, Best-fit voor lange taken).

Misschien biedt de hybride methode wel voordelen bij **middellange taken**? Het derde experiment voeren we uit voor taken met een duurtijd van 100 tijdseenheden. Tabel 7.9 toont de resultaten. Omdat de best-fit methode bij middellange taken (duurtijd = 100 tijdseenheden) beter presteert dan de FCFS methode, wordt de best-fit methode hier als benchmark

gebruikt. Voor de rest is de interpretatie van de ratio's analoog met de interpretatie bij tabel 7.8. Ratio's kleiner dan 1 wijzen dus op een betere performantie dan de best-fit methode, ratio's groter dan 1 wijzen op een slechtere performantie.

In tabel 7.8 is te zien dat de ratio's van de Hybrid 635 en de Hybrid 1000 methode (die nagenoeg identiek zijn) kleiner zijn dan 1. Dit wijst erop dat deze **hybride methodes beter presteren dan de best-fit methode**. De verschillen zijn wel beperkt en de voordelen van deze hybride methodes nemen geleidelijk af wanneer er meer taken uitgevoerd moeten worden. Dit komt doordat de benodigde duurtijd voor het uitvoeren van de taken, toeneemt met het aantal uit te voeren taken. Hierdoor wordt er procentueel gezien meer gebruik gemaakt van de FCFS methode bij een kleine hoeveelheid taken (vb. 1000 taken) dan bij een grote hoeveelheid taken (vb. 10000 taken). Bij een grote hoeveelheid taken (vb. 10000 taken) is het gebruik van de FCFS dus beperkt, waardoor de performantie van de Hybrid 635 en Hybrid 1000 methode nagenoeg gelijk is aan de performantie van de best-fit methode. Wanneer we de overgangswaarde verder in de tijd leggen (vb. $t = 2000$) zien we dat de performantie afneemt ten opzichte van de Hybrid 635 en de Hybrid 1000 methode. We kunnen dus besluiten dat er bij middellange taken hybride methodes zijn, namelijk de Hybrid 635 en de Hybrid 1000, die beter presteren dan de FCFS en de best-fit methode. De (tijds)voordelen zijn echter beperkt en nemen af naarmate het aantal uit te voeren taken toeneemt.

Aantal taken	Duurtijd	Ratio			
	Best fit	FCFS	Hybrid 635	Hybrid 1000	Hybrid 2000
1000	1810	1,003	0,941	0,943	1,005
2000	3211	1,062	0,946	0,942	1,006
3000	4546	1,109	0,962	0,960	1,002
4000	5897	1,128	0,970	0,970	0,997
5000	7246	1,141	0,975	0,975	0,998
6000	8622	1,151	0,979	0,979	0,998
7000	9945	1,160	0,983	0,981	0,999
8000	11290	1,165	0,984	0,983	0,999
9000	12545	1,173	0,987	0,986	0,998
10000	13923	1,175	0,988	0,988	0,999
Gemiddelde		1,127	0,971	0,971	1,000

Tabel 7.9: Ratioanalyse Best fit vs. FCFS en Hybrid (ratio(...,Best fit)) met duurtijd taken 100 tijdseenheden

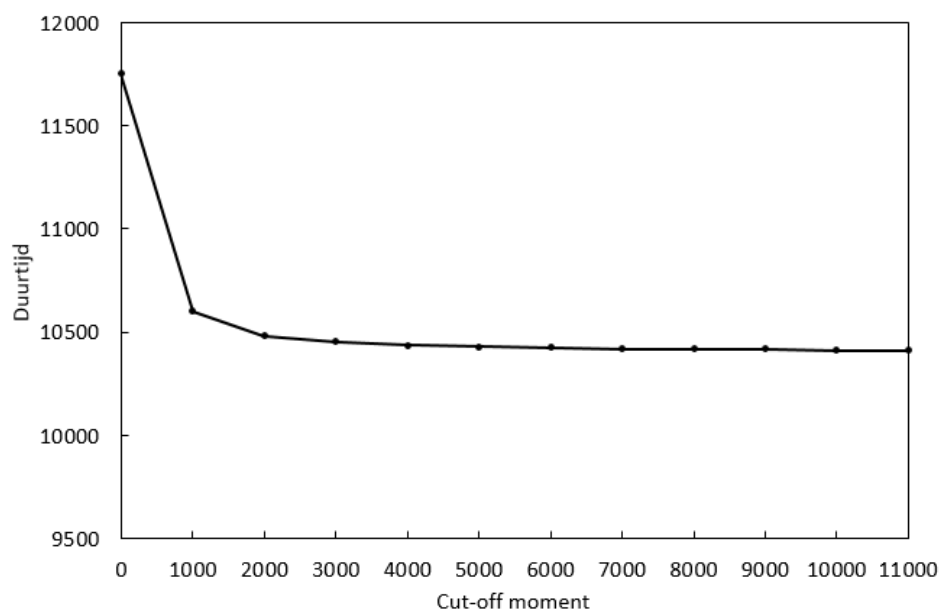
Op basis van bovenstaande experimenten kunnen we concluderen dat het gebruik van een **hybride methode bij middellange taken voordelig kan zijn. Bij korte en lange taken**

levert het gebruik van een hybride methode geen tijdsvoordeel op ten opzichte van de FCFS en best-fit methode.

Experiment 6: Bepaling ideale *cut-off* waarde (overgangswaarde) voor de hybride methode

In experiment 5 werd de hybride methode geïntroduceerd en vergeleken met de FCFS en best-fit methode voor verschillende taakduurtijden. Hierbij werd de *cut-off* waarde (overgangswaarde) vrij intuïtief vastgelegd op basis van voorgaande experimenten. In deze set van experimenten zullen we **op een gestructureerde manier op zoek gaan naar de beste *cut-off* waarde** voor de situatie waarbij 100 werknemers 10000 taken moeten uitvoeren. Er wordt geleidelijk overgegaan van de best-fit (cut-off waarde 0) naar de FCFS methode door de cut-off waarde steeds verder in de tijd te leggen. We doen dit voor korte (duurtijd = 10 tijdseenheden), middellange (duurtijd = 100 tijdseenheden) en lange (duurtijd = 500 tijdseenheden) taken. De parametertabel is dus identiek aan de parametertabel van experiment 5 (zie tabel 7.7). Hierna volgt een beschrijving van de resultaten.

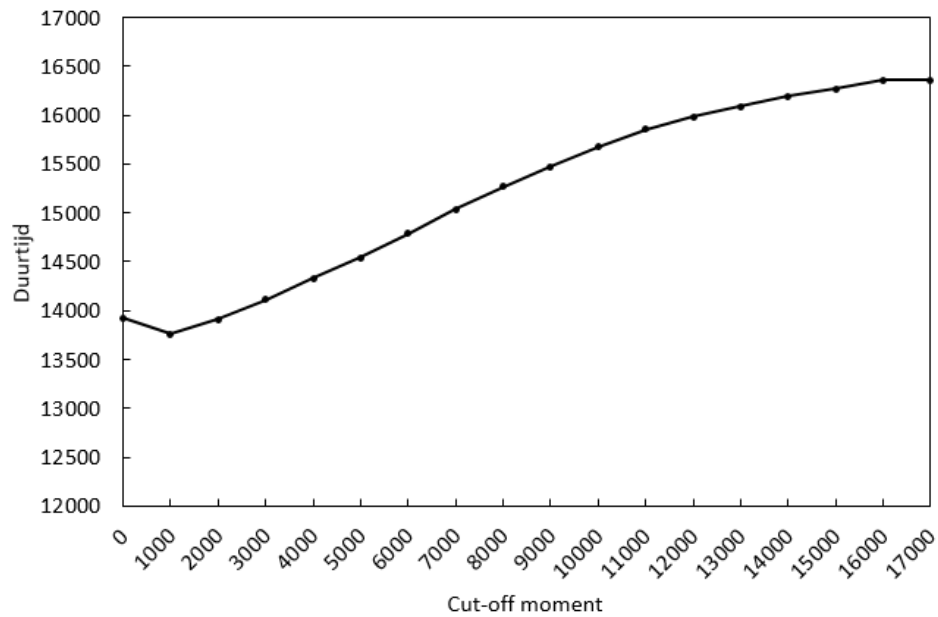
Korte taken. Op figuur 7.12 is duidelijk zichtbaar dat de **FCFS methode**⁹ inderdaad overeenstemt met de **kortste totale duurtijd** (10412 tijdseenheden). Voorts is het belangrijk om vast te stellen dat de grafiek eerst sterk daalt, waarna ze asymptotisch naar de optimale waarde van de FCFS methode evolueert. Dit wijst erop dat een beperkte toepassing van de FCFS methode in het begin (vb. cut-off waarde 1000 of 2000) reeds een grote tijdswinst oplevert ten opzichte van de best-fit methode (cut-off waarde 0). De voordelen van een langere toepassing van de FCFS methode nemen stelselmatig af, maar er is wel tijdswinst mogelijk tot de 100% FCFS methode bereikt wordt.



Figuur 7.12: Performantie toewijzingsmethodes voor 10000 taken met duurtijd taken 10 tijdseenheden

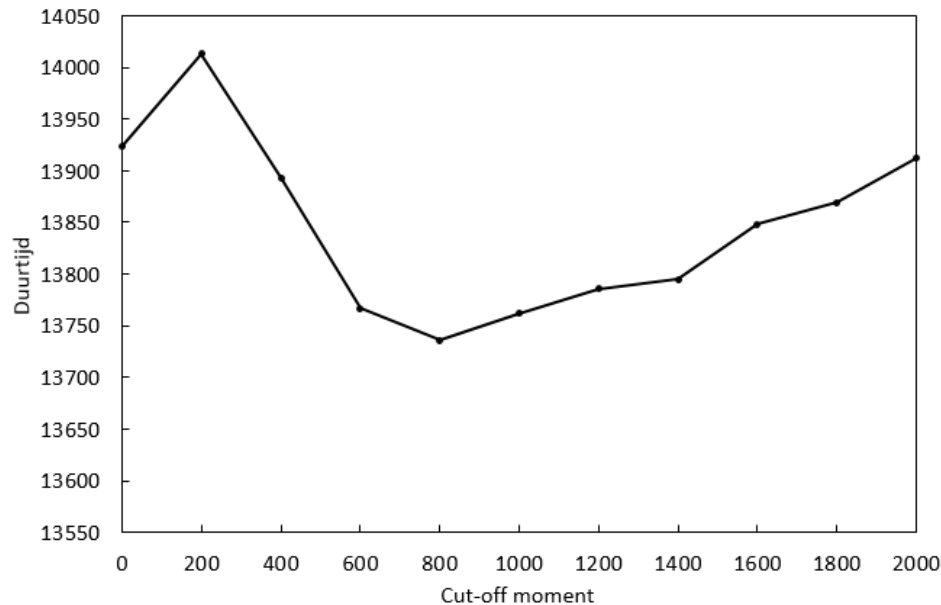
⁹De FCFS methode wordt weergegeven door het punt met de cut-off waarde 11000. Voor dit punt zullen alle taken immers reeds beëindigd zijn vooraleer de cut-off waarde bereikt wordt. De FCFS methode werd hier dus voor alle taken toegepast.

Middellange taken. Op figuur 7.13 is te zien dat voor middellange taken de **hybride methode met een cut-off waarde van 1000 het best presteert**. Gedurende een korte periode de FCFS methode toepassen en hierna overschakelen op de best-fit methode is hier de aangewezen werkwijze. Wanneer de toepassing van de FCFS methode verlengd wordt (grotere cut-off waarden), stijgt de totale duurtijd opnieuw.



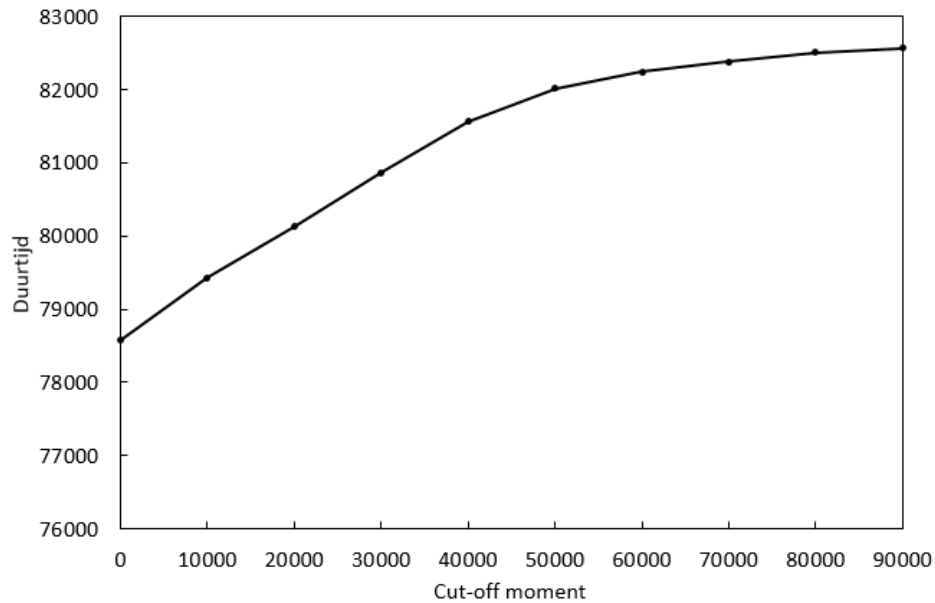
Figuur 7.13: Performantie toewijzingsmethodes voor 10000 taken met duurtijd taken 100 tijdseenheden

Om de ideale cut-off waarde nog beter te benaderen, werd er in figuur 7.14 gewerkt met kleinere intervallen tussen de cut-off waardes. Dit werd gedaan voor cut-off waardes tussen 0 en 2000, omdat uit figuur 7.13 duidelijk blijkt dat de ideale cut-off waarde zich ergens in dit interval bevindt. Op basis van figuur 7.14 kunnen we besluiten dat **800 (bij benadering) de beste cut-off waarde is voor middellange taken.**



Figuur 7.14: Detailweergave performantie toewijzingsmethodes voor 10000 taken met duurtijd taken 100 tijdseenheden

Lange taken. Figuur 7.15 bevestigt dat het gebruik van **de best-fit methode bij lange taken de beste resultaten** oplevert. Hier biedt de hybride methode duidelijk geen voordelen. Hoe langer de FCFS methode toegepast wordt, hoe langer de benodigde duurtijd is om alle taken uit te voeren. Deze toename gebeurt via een degressieve stijging.



Figuur 7.15: Performantie toewijzingsmethodes voor 10000 taken met duurtijd taken 500 tijdseenheden

Experiment 7: Vergelijking hybride methodes tov FCFS en Best-Fit bij variërende taakduurtijden

In bovenstaande experimenten duurden alle uit te voeren taken even lang. Dit is een zeer restrictieve assumptie. Bovendien is de kans groot dat de uit te voeren takenset in de praktijk bestaat uit taken met variërende duurtijden. Daarom zullen we in deze set van experimenten testen hoe de FCFS en best-fit methode presteren bij **variërende taakduurtijden** en of een hybride methode hier voordelen biedt. Om dit experiment uit te voeren, genereerden we een takenset waarbij de duurtijd van de taken kon variëren tussen de 1 en 500 tijdseenheden (met een gemiddelde van 250 tijdseenheden). We voerden het experiment uit **voor de FCFS, de best-fit en twee type hybride methodes**. Het **eerste type hybride methode** (Hybrid 1000) is analoog aan de hybride methode die gebruikt werd bij experimenten 5 en 6. Na 1000 tijdseenheden wordt er overgeschakeld van de FCFS methode naar de best-fit methode. Bij het **tweede type hybride methode**, de Hybrid task split methode, worden korte taken toegewezen met behulp van de FCFS methode en lange taken met behulp van de best-fit methode. Zo wordt iedere methode toegepast voor het soort taken waarvoor ze het best presteert. Hierbij worden er verschillende waarden getest als cut-off waarde tussen korte en lange taken. Bij de **Hybrid task split 10** methode worden korte taken (tijdsduur

≤ 10) toegewezen met behulp van de FCFS methode, lange taken (tijdsduur > 10) worden toegewezen met behulp van de best-fit methode. Bij de **Hybrid task split 50** methode worden korte taken (tijdsduur ≤ 50) toegewezen met behulp van de FCFS methode, lange taken (tijdsduur > 50) worden toegewezen met behulp van de best-fit methode. De parameters in tabel 7.10 geven nog eens duidelijk weer dat we hier de FCFS, best-fit en hybride methode zullen vergelijken voor variërende taakduurtijden.

	Taakkarakteristieken			Werknemerskarakteristieken		Priority rule taakselectie	Toewijzings- methode	learning
	Gem. duration	Bereik duration	difficulty	estSkillLevel	actualSkillLevel			
1	250	1-500	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
2	250	1-500	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	ja
3	250	1-500	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Hybride	ja

Tabel 7.10: Parametertabel experiment 7

Omdat het verschil in performantie tussen de geteste methodes zeer klein is, maken we opnieuw gebruik van een ratioanalyse in plaats van een grafiek (zie tabel 7.11). Hierbij wordt de best-fit methode als benchmark gebruikt. De best-fit methode presteert immers beter dan de FCFS methode. Dit is logisch aangezien de gemiddelde duurtijd van de taken (250 tijdseenheden) vrij lang is. Het verschil in performantie tussen de FCFS en best-fit methode is duidelijk zichtbaar in de ratio's en dit verschil blijft ongeveer constant bij een veranderend aantal uit te voeren taken. De ratio's van de geteste hybride methodes zijn vrijwel identiek en schommelen allemaal rond de waarde 1. Dit wijst erop dat de **hybride methodes ongeveer even goed, maar niet beter presteren dan de best-fit methode.**

Aantal taken	Duurtijd	Ratio			
	Best fit	FCFS	Hybrid 1000	Hybrid task split 10	Hybrid task split 50
1000	4158	1,072	1,014	0,998	0,995
2000	7816	1,076	1,003	1,000	1,000
3000	11542	1,072	1,003	1,001	0,999
4000	15302	1,074	1,004	1,000	1,003
5000	19152	1,073	1,000	0,999	1,001
6000	22949	1,074	1,001	0,999	1,001
7000	26835	1,073	1,001	0,999	0,999
8000	30660	1,074	1,002	1,002	1,001
9000	34287	1,075	1,001	1,000	1,000
10000	38255	1,074	1,002	1,000	1,001
Gemiddelde		1,074	1,003	1,000	1,000

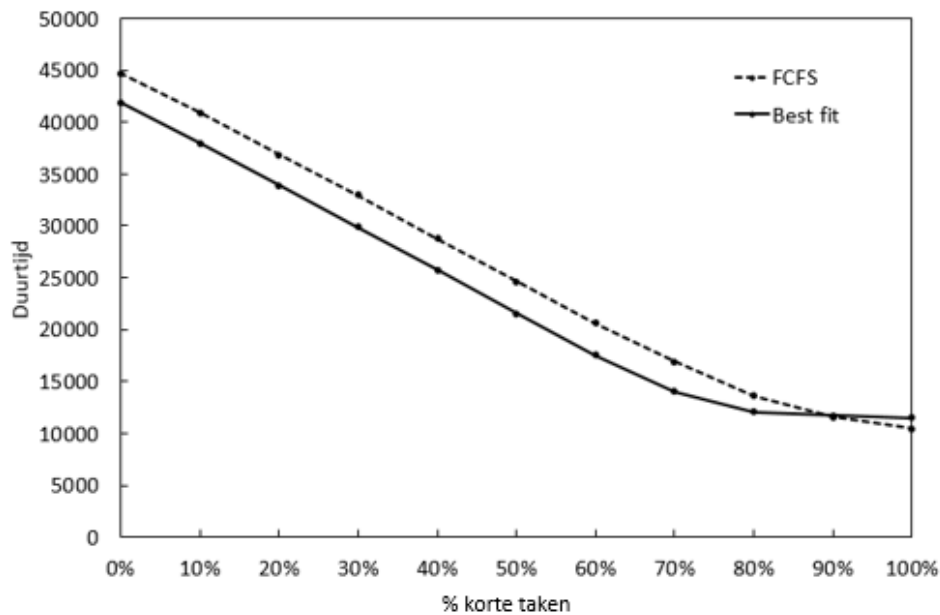
Tabel 7.11: Ratioanalyse Best fit vs. FCFS en Hybrid (ratio(...,Best fit)) met variabele duurtijd taken (gem. 250 tijdseenheden)

Uit voorgaande experimenten is duidelijk gebleken dat voor korte taken de FCFS methode en voor lange taken de best-fit methode het best presteert. Nu zullen we onderzoeken **welke methode het best presteert wanneer er zowel korte als lange taken uitgevoerd moeten worden**. Korte taken hebben hier een duurtijd tussen de 1 en 50 tijdseenheden, lange taken een duurtijd tussen de 51 en 500 tijdseenheden. **We hebben er hier voor gekozen om 50 als afkapwaarde tussen korte en lange taken te gebruiken omdat dit de taakduur is waarbij de FCFS en de best-fit methode (ongeveer) even goed presteren**. Voor duurtijden korter dan 50 tijdseenheden presteert de FCFS methode het best, voor duurtijden langer dan 50 tijdseenheden presteert de best-fit methode het best. Bovendien wilden we dit experiment uitvoeren met variërende taakduurtijden. Daarom wordt de standaarddefinitie van korte en lange taken i.e. korte taken = 10 tijdseenheden en lange taken = 500 tijdseenheden hier niet gehanteerd. We werken telkens met een **bepaalde takenmix**. Deze mix kan bijvoorbeeld bestaan uit 30% korte taken en 70% lange taken. Door deze mix te laten variëren, kunnen de FCFS en best-fit methode vergeleken worden voor verschillende situaties. Tabel 7.12 toont de parameters van het experiment dat hier uitgevoerd zal worden.

	Taakkenmerken		Werknemerskenmerken			Toewijzingsmethode	learning
	duration	difficulty	estSkillLevel	actualSkillLevel	Priority rule taakselectie		
1	variërende takenmix	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
2	variërende takenmix	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	ja

Tabel 7.12: Parametertabel experiment 7 deel 2

Figuur 7.16 toont de resultaten. Op de x-as wordt het percentage korte taken weergegeven. De **best-fit methode presteert beter voor bijna alle mogelijkheden**. Enkel wanneer de takenmix uit 90% of 100% korte taken bestaat, presteert de FCFS methode beter. We kunnen dus besluiten dat wanneer de duurtijd van de taken varieert en de uit te voeren taken set niet voor 90% of meer uit korte taken (in dit geval zijn dit taken met een duurtijd tussen de 1 en 50 tijdseenheden) bestaat, de best-fit methode het best zal presteren.



Figuur 7.16: FCFS vs. Best fit voor een variërende mix van taken

7.1.2.3 Losse experimenten

In deze sectie zullen een aantal losse experimenten uitgevoerd worden. Hierbij worden verschillende interessante situaties getest. In voorgaande experimenten maakten we steeds gebruik van een gecentraliseerde toewijzingsmethode. Het is echter ook mogelijk om de toewijzing op een gedecentraliseerde manier te laten verlopen. In experiment 8 zullen we onderzoeken of een **gedecentraliseerde toewijzingsmethode voordelen biedt ten opzichte van de gecentraliseerde toewijzingsmethode**. In experiment 9 worden de parameters met betrekking tot het **vaardigheidsniveau van de werknemers** (*estSkillLevel* en *actualSkillLevel*) onder de loep genomen. Er worden verschillende mogelijkheden getest en met elkaar vergeleken. Bovendien wordt er getest of de effecten van *learning* nog steeds hetzelfde zijn wanneer we deze parameters wijzigen. In experiment 10 wordt de invloed van **het aantal werknemers** op de totale duurtijd voor het uitvoeren van alle taken onderzocht.

Experiment 8: Vergelijking centrale en decentrale toewijzing

De werkwijze die we bij voorgaande experimenten gehanteerd hebben, wordt gerekend tot de **centrale toewijzingsmethodes**. In experimenten 1 tem 7 werden 100 werknemers toegewezen volgens een bepaalde toewijzingsmethode aan bepaalde taken. Hierbij konden alle

werknemers alle taken uitvoeren (als hun *actualSkillLevel* hoog genoeg was). In de realiteit werken bedrijven echter vaak met afdelingen, waarbij werknemers meestal enkel taken binnen hun afdeling kunnen uitvoeren. De toewijzing van werknemers aan taken op afdelingsniveau wordt **decentrale toewijzing** genoemd.

Om de verschillen tussen centrale en decentrale toewijzing te achterhalen, zullen we een nieuwe reeks van experimenten uitvoeren. Voor de situatie met centrale toewijzing laten we 100 werknemers 10000 taken uitvoeren. Voor de situatie met decentrale toewijzing splitsen we de werknemers op in 10 afdelingen, waarbij iedere afdeling 1000 taken moet uitvoeren. Hierbij is er parallelle toewijzing mogelijk in de verschillende afdelingen (i.e. op bepaald tijdstip t kan er in iedere afdeling één nieuwe taak gestart worden). Het *actualSkillLevel* van de werknemers en de *difficulty* van de taken zijn in beide situaties hetzelfde. Telkens worden zowel de FCFS als de best-fit methode getest. We zullen dit eerst doen voor korte taken (10 tijdseenheden), hierna herhalen we het experiment voor lange taken (500 tijdseenheden). De parameterwaarden die tijdens dit experiment gebruikt worden, zijn beschikbaar in tabel 7.13.

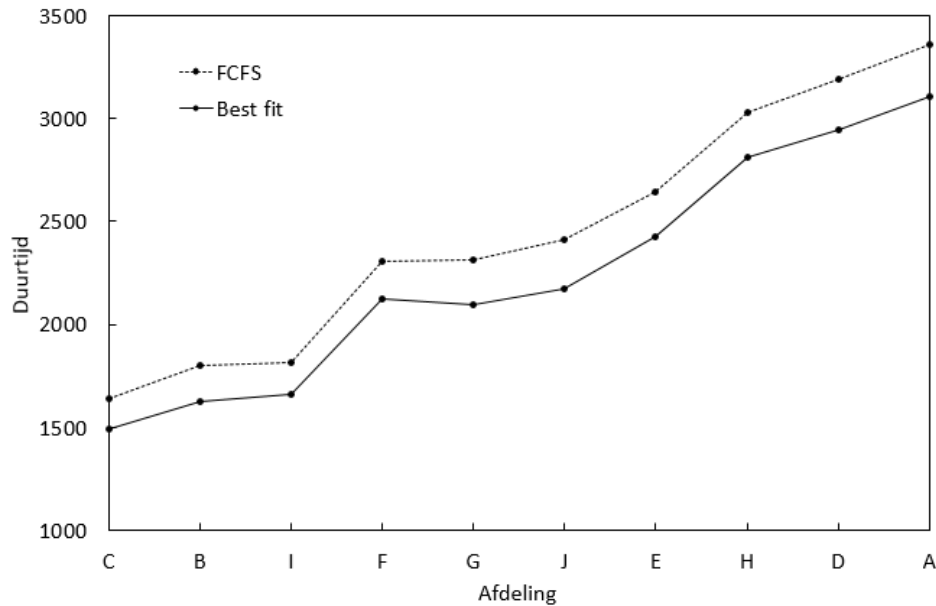
	Taakkarakteristieken			Werknemerskarakteristieken		Priority rule taakselectie	Toewijzings- methode	learning
	Gem. duration	Stdafw. duration	difficulty	estSkillLevel	actualSkillLevel			
1	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS centraal	ja
2	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit centraal	ja
3	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS decentraal	ja
4	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit decentraal	ja
5	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS centraal	ja
6	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit centraal	ja
7	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS decentraal	ja
8	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit decentraal	ja

Tabel 7.13: Parametertabel experiment 8

Voor de resultaten van de centrale toewijzingsmethode verwijzen we naar sectie 7.1.2.1, Experiment 2: Vergelijking learning first-come-first-serve methode met learning best-fit methode. Hier zullen we enkel de resultaten van de decentrale toewijzingsmethode behandelen en beide methodes vergelijken.

Korte taken. De resultaten van het experiment waarbij 10 afdelingen 1000 taken met een duurtijd van 10 tijdseenheden moesten uitvoeren, zijn te zien op figuur 7.17. **Wanneer de FCFS methode wordt toegepast, duurt het uitvoeren van de taken duidelijk langer dan bij de best-fit methode.** Op het eerste zicht is dit een vreemde vaststelling aangezien de FCFS methode bij de centrale toewijzingsmethode duidelijk beter presteerde dan de best-fit methode voor korte taken (10 tijdseenheden). De oorzaak van de slechtere performantie van de FCFS methode bij decentrale toewijzing moet gezocht worden bij het beperkte aantal werknemers per afdeling. Doordat het aantal werknemers 10 keer kleiner is dan bij de centrale toewijzingsmethode zal het leerproces van de werknemers ook bij de best-fit methode snel verlopen en komen de voordelen van de efficiëntere toewijzingsmethode die de best-fit methode hanteert veel meer en sneller tot hun recht. Doordat de FCFS minder gebruik maakt van het accuratere *estSkillLevel* van de werknemers (door *learning*) bij het toewijzen van werknemers, presteert deze methode hier minder goed. De ratio's ($ratio(FCFS, Best - fit) = duurtijd_{FCFS} / duurtijd_{Best-fit}$) die gebruikt worden in tabel 7.14 kwantificeren het verschil in performantie tussen de FCFS en best-fit methode.

Ook het feit dat het **uitvoeren van alle taken in afdeling A dubbel zo lang duurt dan bij afdeling C** is opvallend. Dit verschil wordt veroorzaakt door het verschil in *actualSkillLevel* van de werknemers van afdelingen A en C. In afdeling A bedraagt het gemiddelde *actualSkillLevel* van de 10 werknemers 0,46 en is er slechts 1 werknemer met een *actualSkillLevel* dat hoger is dan 0,8. In afdeling C bedraagt het gemiddelde *actualSkillLevel* 0,55 en zijn er 4 werknemers met een *actualSkillLevel* dat hoger is dan 0,8. Doordat er in afdeling C meer werknemers beschikbaar zijn om de moeilijke taken uit te voeren, zal het volledige takenpakket in deze afdeling sneller afgehandeld worden.



Figuur 7.17: FCFS vs. Best fit met duurtijd taken 10 tijdseenheden voor verschillende afdelingen

In tabel 7.14 worden de centrale en decentrale toewijzingsmethode met elkaar vergeleken. Eerst en vooral zien we dat de **gemiddelde duurtijd van de centrale toewijzingsmethode**¹⁰ **veel hoger ligt dan de gemiddelde duurtijd van de decentrale toewijzingsmethode**¹¹. Eigenlijk moet de gemiddelde duurtijd van de centrale toewijzingsmethode vergeleken worden met de duurtijd van de langstwerkende afdeling (zie Max. in tabel 7.14). Bij de decentrale toewijzingsmethode is de totale set van 10000 taken immers slechts volledig afgewerkt wanneer alle afdelingen hun taken uitgevoerd hebben. Ook bij de vergelijking van deze twee waarden zien we een beduidend verschil.

Bij de decentrale toewijzingsmethode worden de 10000 taken sneller uitgevoerd omdat op ieder tijdstip t 10 nieuwe taken kunnen starten (1 taak per afdeling). Bij de centrale toewijzingsmethode kan slechts één taak per tijdstip t gestart worden. De totale duurtijd bij de decentrale toewijzingsmethode is echter niet 10 keer kleiner dan bij de centrale toewijzingsmethode. Dit komt door het feit dat de set van werknemers per afdeling (namelijk 10), kleiner is dan het aantal werknemers bij de centrale toewijzingsmethode (namelijk 100). Hierdoor zal de set van beschikbare werknemers (*AVAILABLE*, alle werknemers die geen taak aan het uitvoeren zijn)

¹⁰Hier werd het gemiddelde van 100 runs gebruikt.

¹¹Hier werd eerst voor alle afdelingen het gemiddelde van 100 runs genomen en dan werd het gemiddelde van alle afdelingen gebruikt.

kleiner zijn en is de kans op situaties waarbij er geen enkele beschikbare werknemer de geselecteerde taak kan uitvoeren ($\nexists E_i \in AVAILABLE \ \&\& \ E_i.estSkillLevel > D.difficulty$) groter. **Het voordeel van de mogelijkheid om meerdere taken tegelijk in verschillende afdelingen uit te voeren, wordt dus gedeeltelijk belemmerd door de kleinere set van werknemers waarover iedere afdeling beschikt.**

Zoals in vorige paragraaf reeds vermeld werd, is de mogelijkheid tot **parallele taaktoewijzing bij de decentrale methode de hoofdoorzaak van het grote verschil in performantie tussen de centrale en de decentrale toewijzingsmethode bij korte taken** (zie tabel 7.14). In de realiteit kunnen er bij een centraal toewijzingssysteem meestal ook meerdere taken tegelijk gestart worden. Hierdoor zal het tijdsvoordeel van een decentrale toewijzingsmethode in de realiteit minder groot zijn dan de cijfers in tabel 7.14 doen vermoeden.

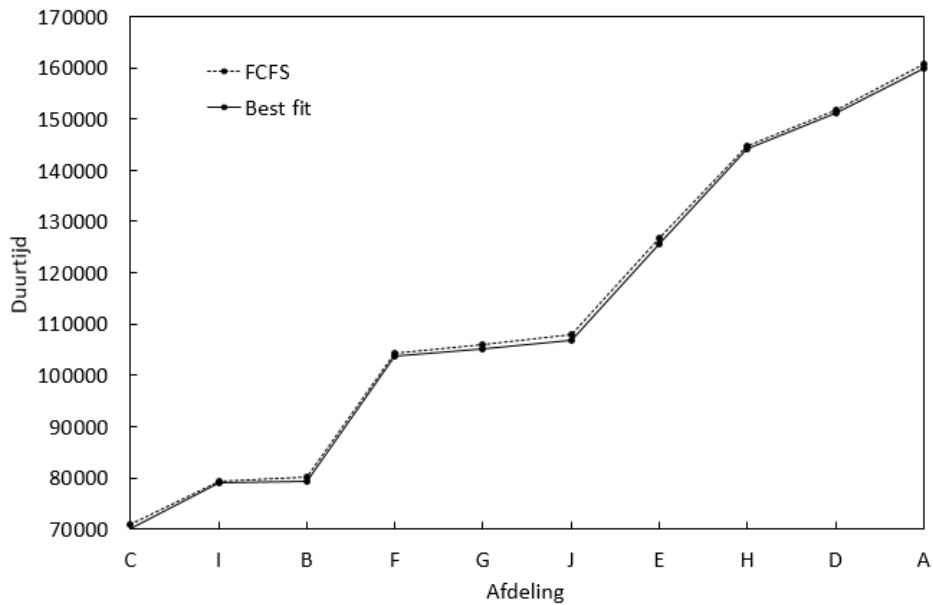
	First-come-first-serve			Best-fit			Ratio
	Gem.	Min.	Max.	Gem.	Min.	Max.	
Gecentraliseerd	10402	10359	10475	11754	11569	12029	0,884975
Gedecentraliseerd	2452	1564	3461	2246	1448	3190	1,09148

Tabel 7.14: Samenvattende tabel centrale vs. decentrale toewijzing met duurtijd taken 10 tijdseenheden (ratio(FCFS,Best fit))

Belangrijkste vaststellingen voor korte taken:

- Een takenset met korte taken wordt sneller uitgevoerd via de gedecentraliseerde toewijzingsmethode.
- Bij de centrale toewijzingsmethode presteert de FCFS methode het best.
- Bij de decentrale toewijzingsmethode presteert de best-fit methode het best.

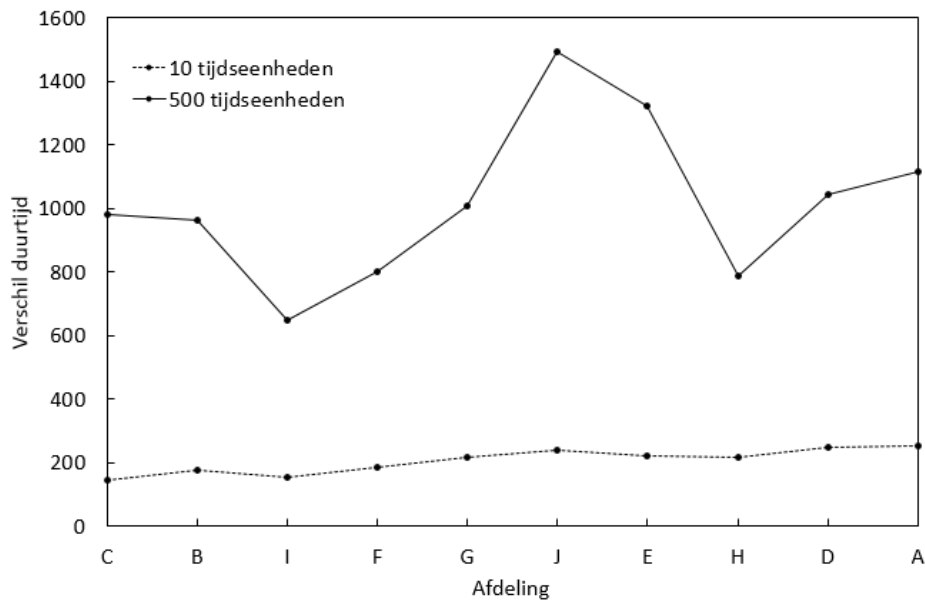
Lange taken. De resultaten van het experiment waarbij 10 afdelingen 1000 taken met een duurtijd van 500 tijdseenheden¹² moesten uitvoeren, zijn te zien op figuur 7.18. De verschillen tussen de FCFS en best-fit methode lijken klein. Nochtans zijn de absolute verschillen tussen de FCFS en de best-fit methode duidelijk groter dan bij de korte taken (zie figuur 7.19¹³). **Ook voor lange taken presteert de best-fit methode beter dan de FCFS methode bij een gedecentraliseerd toewijzingssysteem.**



Figuur 7.18: FCFS vs. Best fit met duurtijd taken 500 tijdseenheden voor verschillende afdelingen

¹²Het experiment werd ook uitgevoerd voor taken met een duurtijd van 100 tijdseenheden. De resultaten waren gelijkaardig aan deze van het experiment voor taken met een duurtijd van 500 tijdseenheden.

¹³De y -waarde van deze grafiek, *verschil duurtijd* werd als volgt berekend: $\text{verschil duurtijd} = \text{duurtijd}_{FCFS} - \text{duurtijd}_{Best-fit}$



Figuur 7.19: Verschil in performantie FCFS en Best fit methode

Doordat er slechts 10 werknemers beschikbaar zijn, gaat er echter **veel tijd verloren aan wachten**. Wanneer alle werknemers toegewezen werden aan een taak, moet er gewacht worden tot er weer een werknemer beschikbaar is vooraleer er een nieuwe taak kan toegewezen worden. Bij taken met een duurtijd van 500 tijdseenheden kan dit vanzelfsprekend lang duren. Zowel de FCFS als de best-fit methode hebben hier last van en de **duurtijden voor het uitvoeren van alle taken zijn bij het gedecentraliseerde systeem dan ook hoog**. Vandaar dat het procentuele verschil tussen de FCFS en de best-fit methode lager is dan bij korte taken (zie tabellen 7.14 en 7.15), terwijl het absolute verschil groter is. Het grote verschil in duurtijd tussen de afdelingen onderling wordt ook hier verklaard door de verschillen in werknemerskarakteristieken tussen de verschillende afdelingen (cfr. supra).

In tabel 7.15 worden de centrale en decentrale toewijzingsmethode met elkaar vergeleken. Wanneer we de gemiddelde duurtijd bij de gecentraliseerde toewijzingsmethode vergelijken met de maximale duurtijd (deze duurtijd geeft de eindtijd van de langstwerkende afdeling weer) van de gedecentraliseerde methode, zien we dat de **duurtijd van de gecentraliseerde methode zowel bij de FCFS als de best-fit methode slechts ongeveer de helft bedraagt van de duurtijd van de gedecentraliseerde methode**. De belangrijkste reden hiervoor werd hierboven reeds aangehaald: in een gedecentraliseerd systeem moet

er vaak gewacht worden op beschikbare werknemers, in het gecentraliseerde systeem is dit veel minder het geval omdat de set werknemers groter is (100 werknemers ipv 10). Een andere reden houdt verband met het *actualSkillLevel* van de werknemers. Bij een gecentraliseerd systeem zijn er 100 werknemers beschikbaar met sterk verschillende vaardigheidsniveaus. Aangezien voor het *actualSkillLevel* een willekeurig getal tussen 0,0 en 1,0 werd toegekend, zullen ongeveer 20 werknemers een vaardigheidsniveau van 0,8 of meer hebben. Er zijn dus 20 werknemers die de moeilijke taken (*difficulty* > 0,8) kunnen uitvoeren. Bij een afdeling van 10 werknemers zijn er gemiddeld slechts 2 werknemers die deze taken kunnen uitvoeren. Bij het gedecentraliseerde systeem is de kans dan ook veel groter dat er geen enkele beschikbare werknemer een bepaalde moeilijke taak kan uitvoeren dan bij een gecentraliseerd systeem. **Bij het gedecentraliseerde systeem gaat er dus meer tijd verloren aan het wachten op (competente) werknemers om bepaalde taken uit te voeren dan bij het gecentraliseerde systeem.**

Wanneer we de ratio's bestuderen, zien we dat de **best-fit methode zowel bij de gecentraliseerde toewijzingsmethode als bij de gedecentraliseerde toewijzingsmethode het best presteert**. Het procentuele verschil met de FCFS methode is echter het grootst bij gecentraliseerde toewijzing.

	First-come-first-serve			Best-fit			Ratio
	Gem.	Min.	Max.	Gem.	Min.	Max.	
Gecentraliseerd	82561	81667	83593	78572	77255	79718	1,050769
Gedecentraliseerd	113293	68001	165508	112483	66542	164530	1,007204

Tabel 7.15: Samenvattende tabel centrale vs. decentrale toewijzing met duurtijd taken 500 tijdseenheden (ratio(FCFS,Best fit))

Belangrijkste vaststellingen voor lange taken:

- Een takenset met lange taken wordt sneller uitgevoerd via de gecentraliseerde toewijzingsmethode.
- Zowel bij de centrale als decentrale toewijzingsmethode presteert de best-fit methode het best.

Experiment 9: Effecten van *learning* en vaardigheidsniveau werknemers

Tot hiertoe zijn we ervan uitgegaan dat het vaardigheidsniveau van de werknemers sterk varieert tussen de werknemers onderling en dat de werknemers initieel geen zicht hebben op hun eigen vaardigheidsniveau. Rekening houdende met deze assumpties werden de effecten van *learning* bij de FCFS methode getest in experiment 1 (zie sectie 7.1.2.1). De voordelen van *learning*, waarbij werknemers hun *estSkillLevel* geleidelijk aan aanpassen, waren duidelijk zichtbaar (vooral bij korte taken). In deze set van experimenten zullen we de initiële assumpties aanpassen en de resultaten vergelijken.

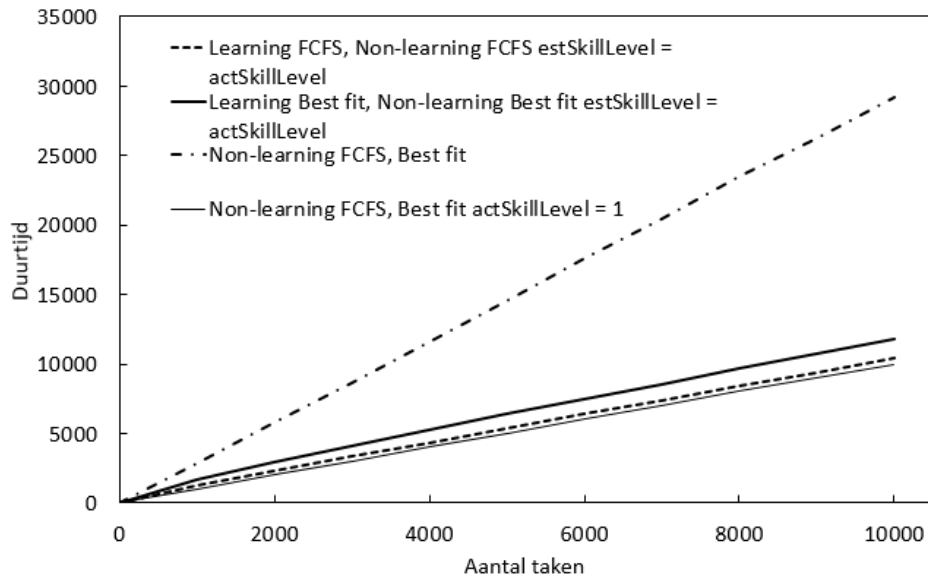
Stel dat **werknemers van bij het begin een duidelijk zicht hebben op hun eigen competenties** ($estSkillLevel = actualSkillLevel$). In deze situatie is een leerproces overbodig, maar reduceert deze extra informatie ook de totale duurtijd? Een tweede situatie die getest zal worden, is de situatie waarbij **alle werknemers alle taken kunnen uitvoeren** ($actualSkillLevel = 1$). Deze situatie stemt overeen met de minimale duurtijd voor het uitvoeren van alle taken (= **benchmark**), aangezien iedere taak die geselecteerd wordt sowieso uitgevoerd kan worden door de geselecteerde werknemer. Enkel wanneer alle werknemers een taak aan het uitvoeren zijn, moet er gewacht worden. In totaal zullen in deze set van experimenten acht toewijzingsmethodes met elkaar vergeleken worden: non-learning FCFS, non-learning best-fit, learning FCFS, learning best-fit, non-learning FCFS $actualSkillLevel = 1$, non-learning best-fit $actualSkillLevel = 1$, non-learning FCFS $estSkillLevel = actualSkillLevel$ en non-learning best-fit $estSkillLevel = actualSkillLevel$. De experimenten werden uitgevoerd voor korte en lange taken. Aangezien de resultaten vrij analoog waren bespreken we hier enkel de resultaten voor korte taken. Het grootste verschil tussen korte en lange taken dat bij deze experimenten vastgesteld werd, is dat de best presterende methode bij korte taken veel dichterbij de benchmark ligt dan bij lange taken. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat er bij lange taken vaker en langer gewacht moet worden op competente werknemers (werknemers met een hoog vaardigheidsniveau), omdat deze langer bezig zijn met hun vorige taak. De parameterwaarden die tijdens dit experiment gebruikt worden, zijn beschikbaar in tabel 7.16.

	Taakkarakteristieken			Werknemerskarakteristieken		Priority rule taakselectie	Toewijzings- methode	learning
	Gem. dura- tion	Stdafw. dura- tion	difficulty	estSkillLevel	actualSkillLevel			
1	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
2	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	nee
3	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	ja
4	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	nee
5	10	0	rand(0,0;0,9)	actualSkillLevel	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	nee
6	10	0	rand(0,0;0,9)	actualSkillLevel	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	nee
7	10	0	rand(0,0;0,9)	1	1	random	FCFS	nee
8	10	0	rand(0,0;0,9)	1	1	random	Best fit	nee

Tabel 7.16: Parametertabel experiment 9

Op figuur 7.20 zijn slechts 4 rechten zichtbaar. Omdat de resultaten zeer gelijkaardig waren, werden enkele rechten immers samen genomen. Wanneer het vaardigheidsniveau initieel niet gekend is en er **geen learning mogelijk** is, blijft het *estSkillLevel* van de werknemers de waarde 1 behouden. Hierdoor is er in dit geval **geen verschil tussen de FCFS en de best-fit methode**. Verder zijn voor zowel de FCFS als de best-fit methode de **resultaten voor learning en non-learning met vaardigheidsniveau reeds gekend (*estSkillLevel* = *actualSkillLevel*) vrijwel identiek**. Het op voorhand reeds op de hoogte zijn van het vaardigheidsniveau biedt dus weinig/geen voordelen. Dit komt enerzijds door het feit dat het leerproces vrij snel verloopt, hierdoor worden de voordelen van het op voorhand op de hoogte zijn van het vaardigheidsniveau vrij snel weggewerkt. Anderzijds is het nog steeds mogelijk dat er een moeilijke taak geselecteerd wordt waarvoor geen enkele competente werknemer beschikbaar is.

Zoals reeds gezegd werd, stemt de **situatie waarbij alle werknemers alle taken kunnen uitvoeren** (*actualSkillLevel* = 1) overeen met de **kortst mogelijke duurtijd**. Dit is ook duidelijk te zien op figuur 7.20. We zien verder dat de learning FCFS methode en non-learning FCFS methode met gekend vaardigheidsniveau deze benchmark benaderen en dus goed presteren.



Figuur 7.20: Vergelijking effecten van learning en vaardigheidsniveau werknemers

Tot hiertoe werd voor het vaardigheidsniveau van de werknemers (*actualSkillLevel*) een willekeurig getal tussen 0 en 1 gebruikt. Het gemiddeld vaardigheidsniveau van alle werknemers is hierbij ongeveer gelijk aan 0,5. Men zou experimenten kunnen uitvoeren waarbij men dit gemiddeld vaardigheidsniveau laat variëren¹⁴. Wanneer je als werkgever inschat dat het gemiddelde vaardigheidsniveau van de werknemers hoog is, bijvoorbeeld 0,7, dan zal de taken set sneller uitgevoerd worden. Er zijn dan immers meer werknemers beschikbaar om de moeilijkere taken uit te voeren. In het algemeen kunnen we stellen dat **een stijging (daling) van het gemiddeld vaardigheidsniveau van de werknemers zal leiden tot een daling (stijging) van de benodigde duurtijd voor het uitvoeren van alle taken.**

Er zouden ook experimenten uitgevoerd kunnen worden waarbij alle werknemers hetzelfde constante vaardigheidsniveau hebben¹⁵. Hierbij moet men er wel voor zorgen dat dit vaardigheidsniveau (*actualSkillLevel*) hoger ligt dan de *difficulty* van de moeilijkste taak. Anders zouden er immers taken zijn die door geen enkele werknemer uitgevoerd kunnen worden. Ook hier kunnen we stellen dat **een stijging (daling) van het constante vaardigheidsniveau van de werknemers zal leiden tot een daling (stijging) van de benodigde duurtijd voor het uitvoeren van alle taken.**

¹⁴Deze experimenten werden niet opgenomen in deze thesis omdat de resultaten vrij triviaal zijn.

¹⁵Ook deze experimenten werden niet opgenomen in deze thesis omdat de resultaten vrij triviaal zijn.

Experiment 10: Effecten van het aantal werknemers

Tot hiertoe zijn we ervan uitgegaan dat er 100 werknemers beschikbaar waren om de taken uit te voeren. In deze set van experimenten zullen we dit aantal laten variëren. We bekijken de situatie waarbij het aantal werknemers toeneemt (afneemt) met een factor 2 en de situatie waarbij het aantal werknemers toeneemt (afneemt) met een factor 10. We doen dit voor het uitvoeren van 10000 taken met de FCFS methode¹⁶. We voeren de testen andermaal apart uit voor korte en lange taken. De parameterwaarden die tijdens dit experiment gebruikt worden, zijn beschikbaar in tabel¹⁷ 7.17.

	Taakkarakteristieken			Aantal werknemers	Priority rule taakselectie	Toewijzingsmethode	learning
	Gem. duration	Stdafw. duration	difficulty				
1	10	0	rand(0,0;0,9)	10	random	FCFS	ja
2	10	0	rand(0,0;0,9)	50	random	FCFS	ja
3	10	0	rand(0,0;0,9)	100	random	FCFS	ja
4	10	0	rand(0,0;0,9)	200	random	FCFS	ja
5	10	0	rand(0,0;0,9)	1000	random	FCFS	ja
6	500	0	rand(0,0;0,9)	10	random	FCFS	ja
7	500	0	rand(0,0;0,9)	50	random	FCFS	ja
8	500	0	rand(0,0;0,9)	100	random	FCFS	ja
9	500	0	rand(0,0;0,9)	200	random	FCFS	ja
10	500	0	rand(0,0;0,9)	1000	random	FCFS	ja

Tabel 7.17: Parametertabel experiment 10

Tabel 7.18 toont de resultaten. Telkens worden de duurtijd voor het uitvoeren van de 10000 taken en een ratio weergegeven. Deze ratio ($ratio(i, 100) = duurtijd_i / duurtijd_{100}$ met $i =$ aantal werknemers) vergelijkt de duurtijd van het geteste aantal werknemers met de duurtijd voor 100 werknemers (= de standaardsituatie, waar we tot hiertoe mee gewerkt hebben). Voor **korte taken** zien we een **verdubbeling/halvering van het aantal werknemers weinig invloed heeft op de duurtijd. Wanneer het aantal werknemers daalt tot 10, zien we wel een duidelijke stijging van de duurtijd.** Deze wordt veroorzaakt doordat er meer en langer gewacht moet worden op beschikbare werknemers (werknemers die geen taak aan het uitvoeren zijn) dan wanneer er 100 werknemers zijn. Een op het eerste zicht verrassende vaststelling is dat 1000 werknemers er langer over doen dan 100 werknemers

¹⁶Experimenten met de best-fit methode leveren gelijkaardige resultaten op.

¹⁷Wegens plaatsgebrek werden de parameterwaarden voor *estSkillLevel* en *actualSkillLevel* niet opgenomen in tabel 7.17. De parameterwaarde van *estSkillLevel* was telkens 1 en de parameterwaarde van *actualSkillLevel* was telkens rand(0,0;1,0).

om 10000 taken uit te voeren. Deze stijging wordt veroorzaakt door de selectiemethode die FCFS hanteert. Alle werknemers met een *estSkillLevel* dat hoger is dan de *difficulty* van de geselecteerde taak *D* kunnen aan deze taak toegewezen worden. Initieel hebben alle werknemers een *estSkillLevel* van 1 en kunnen ze dus allemaal toegewezen worden. Naarmate de tijd vordert, passen de werknemers hun *estSkillLevel* aan (= ze leren). Bij 100 werknemers zal dit leerproces sneller verlopen dan bij 1000 werknemers. Het *estSkillLevel* zal dus sneller naar een accurate waarde (waarde die dicht bij het *actualSkillLevel* ligt) evolueren. Hierdoor komt het bij 100 werknemers minder voor dat een werknemer werd toegewezen die de taak niet kon uitvoeren en gaat er dus minder tijd verloren.

Bij **lange taken** heeft een verdubbeling/halvering van het aantal werknemers wel reeds een grote invloed op de duurtijd. Dit komt doordat **bij lange taken de beschikbaarheid van (competente) werknemers een veel groter probleem is dan bij korte taken**. Bij korte taken zijn de werknemers die een taak uitvoeren snel weer beschikbaar, bij lange taken is dit niet het geval. **Hierdoor heeft het aantal werknemers een veel grotere invloed op de duurtijd voor het uitvoeren van 10000 lange taken dan op de duurtijd voor het uitvoeren van 10000 korte taken**. Dit verschil wordt duidelijk weerspiegeld door de ratio's uit tabel 7.18.

Aantal werknemers	Duurtijd taken 10		Duurtijden taken 500	
	Duurtijd	Ratio	Duurtijd	Ratio
10	19.269	1,85	828.314	10,03
50	10.204	0,98	147.383	1,79
100	10.402	1,00	82.561	1,00
200	10.736	1,03	40.162	0,49
1000	12.643	1,22	13.701	0,17

Tabel 7.18: Ratioanalyse voor een variërend aantal werknemers (ratio(aantal werknemers,100))

7.1.2.4 Verschillende priority rules

In deze sectie zal de performantie van verschillende **priority rules**¹⁸ voor taakselectie en werknemersselectie getest worden. In experiment 11 worden verschillende priority rules voor het **selecteren van de toe te wijzen taak** met elkaar vergeleken. In alle andere experimenten werden de taken immers in een willekeurige volgorde uitgevoerd, maar in experiment 11 testen we of dit wel de beste optie is. In het laatste experiment (experiment 12) wordt er onderzocht of er **andere toewijzingsmethodes** zijn die binnen het gebruikte testdesign beter presteren dan de FCFS en/of best-fit methode.

Experiment 11: Toepassen van priority rules voor taakselectie

Tot hiertoe werd de uit te voeren taak telkens willekeurig geselecteerd. In deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 4, sectie 4.2.1 hebben we echter verschillende priority rules voor het selecteren van taken besproken. Enkele hiervan, namelijk **shortest processing time first** en **longest processing time first**, zullen we hier uittesten en vergelijken met de willekeurige selectie. Twee andere priority rules die we zullen testen zijn: **least difficult tasks first** en **most difficult task first**, waarbij taken geselecteerd worden op basis van hun moeilijkheid (*difficulty*). De andere besproken priority rules uit sectie 4.2.1 kunnen enkel getest worden als er onderlinge variatie is bij de taken met betrekking tot *ready date* en *due date*. Aangezien we ervan uitgegaan zijn dat alle taken onmiddellijk konden starten en er geen due date werd opgelegd, zijn ze hier niet toepasbaar. Het testen van andere priority rules op een ander testdesign zou een interessante uitbreiding kunnen zijn van dit onderzoek. De parameterwaarden die tijdens dit experiment gebruikt worden, zijn beschikbaar in tabel¹⁹ 7.19.

¹⁸Voor een theoretische bespreking van priority rules bij taakselectie en werknemersselectie zie deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 4, secties 4.2.1 en 4.2.2.

¹⁹Volgende afkortingen werden gebruikt: SPTF: Shortest Processing Time First, LPTF: Longest Processing Time First, LDTF: Least Difficult Task First en MDTF: Most Difficult Task First.

	Taakkarakteristieken			Werknemerskarakteristieken		Priority rule taakselectie	Toewijzings- methode	learning
	Gem. duration	Bereik duration	difficulty	estSkillLevel	actualSkillLevel			
1	250	1-500	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
2	250	1-500	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	SPTF	FCFS	ja
3	250	1-500	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	LPTF	FCFS	ja
4	250	1-500	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	LDTF	FCFS	ja
5	250	1-500	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	MDTF	FCFS	ja
6	250	1-500	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	ja
7	250	1-500	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	SPTF	Best fit	ja
8	250	1-500	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	LPTF	Best fit	ja
9	250	1-500	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	LDTF	Best fit	ja
10	250	1-500	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	MDTF	Best fit	ja

Tabel 7.19: Parametertabel experiment 11

We hebben deze testen uitgevoerd voor een **willekeurige takenmix**, waarbij **iedere taak een duurtijd had tussen de 1 en 500 tijdseenheden**. Aangezien de gemiddelde duurtijd van de taken (ongeveer 250 tijdseenheden) vrij lang is, presteert de best-fit methode (zoals verwacht) duidelijk beter dan de FCFS methode. De takenset wordt gemiddeld genomen ongeveer 7% sneller uitgevoerd met de best-fit methode. Hierna zullen we de willekeurige taakselectie (random) als benchmark gebruiken en de resultaten van de geteste priority rules hiermee vergelijken. We doen dit apart voor de FCFS en best-fit methode.

FCFS methode. Tabel 7.20 toont de resultaten voor de FCFS methode. In de eerste 2 kolommen ziet u het aantal uitgevoerde taken en de benodigde duurtijd van de random FCFS methode. In de volgende kolommen worden vergelijkende ratio's weergegeven. Deze werden als volgt berekend: $ratio(priority\ rule, random) = duurtijd_{priority\ rule} / duurtijd_{random}$.

Aantal taken	Duurtijd	Ratio		
	Random	Shortest Processing Time First	Longest Processing Time First	Least Difficult Tasks First
1000	4456	0,989	1,106	0,970
2000	8407	0,985	1,081	0,969
3000	12375	0,986	1,065	0,975
4000	16433	0,991	1,054	0,976
5000	20541	0,991	1,049	0,972
6000	24640	0,987	1,041	0,976
7000	28799	0,990	1,036	0,975
8000	32930	0,990	1,030	0,976
9000	36851	0,990	1,030	0,978
10000	41098	0,989	1,027	0,980
Gemiddelde		0,989	1,052	0,975

Tabel 7.20: Ratioanalyse voor verschillende priority rules taakselectie bij FCFS methode (ratio(priority rule,random))

Wanneer **shortest processing time first** wordt toegepast, zien we een **lichte daling ten opzichte van de willekeurige selectieprocedure met 1%**. Eerder hebben we reeds aangetoond dat *learning* vooral in het begin plaats vindt (zie sectie 7.1.2.1, Experiment 3). De effecten van *learning* zorgen ervoor dat de toewijzingsmethode steeds accurater wordt. Bij de FCFS methode is de toewijzing in het begin niet zo accuraat, aangezien het *estSkillLevel* van de werknemers nog ver van hun *actualSkillLevel* ligt. Naarmate de tijd vordert komt dit *estSkillLevel* echter steeds dichterbij het *actualSkillLevel* te liggen en verloopt de toewijzing beter. Wanneer de kortste taken eerst uitgevoerd worden, kunnen de lange taken in een later stadium efficiënter toegewezen worden. Hierdoor moet er minder gewacht worden op competente werknemers (werknemers die een *actualSkillLevel* hebben dat hoog genoeg is om de taak uit te voeren). Bij **longest processing time first** werken de effecten omgekeerd. Wanneer lange taken in het begin inefficiënt toegewezen worden, zal er lang gewacht moeten worden op competente werknemers. Hierdoor is de **uiteindelijke duurtijd langer dan bij de random FCFS methode**.

Least difficult tasks first levert de beste resultaten op (gemiddeld 2% beter dan de random FCFS methode). Bij de least difficult tasks first worden de gemakkelijke taken eerst op een minder efficiënte manier toegewezen. Aangezien het om de gemakkelijkste taken gaat, is de kans echter groot dat de toegewezen werknemer de taak toch kan uitvoeren (ondanks het feit dat *estSkillLevel* nog ver van *actualSkillLevel* verwijderd ligt). Wanneer de moeilijke taken uitgevoerd moeten worden, heeft het leerproces zich al grotendeels voltrokken en kunnen de

voordelen van de efficiëntere toewijzing volop benut worden. De moeilijkste taken eerst laten uitvoeren (**Most difficult tasks first**) is geen goed idee. Er zal immers zeer lang gezocht moeten worden naar een geschikte werknemer, aangezien het *estSkillLevel* van de werknemers nog niet accuraat is. Hierdoor zal de uiteindelijke duurtijd zeer sterk toenemen. Omwille van de **slechte performantie en de grote benodigde computertijd** om testen voor de Most difficult tasks first rule uit te voeren, werd deze priority rule niet opgenomen in tabel 7.20.

Tot slot willen we opmerken dat het **aantal uit te voeren taken weinig invloed** heeft op de performantie van de priority rules. Enkel bij de longest processing time first rule zien we dat de performantie toeneemt met het aantal uit te voeren taken. Dit wijst erop dat de nadelen van de longest processing time rule minder doorwegen bij een grote hoeveelheid taken dan bij een kleinere hoeveelheid taken.

Best-fit methode. Tabel 7.21 toont de resultaten voor de best-fit methode. Voor de **shortest processing time first** en **least difficult tasks first** spelen gelijkaardige effecten als bij de FCFS methode. **De voordelen van het toepassen van deze priority rules** zijn echter **veel groter**. Shortest processing time first presteert gemiddeld 9% beter dan de random best-fit methode en least difficult tasks first zelfs 13%. Deze priority rules maken op het juiste moment optimaal gebruik van de efficiënte toewijzing die de best-fit methode hanteert. Opvallend is dat **longest processing time first** hier ook zeer goed presteert, zelfs beter dan de shortest processing time first. We kunnen dit verklaren doordat er in het begin veel werknemers beschikbaar zijn en er op het einde meer werknemers aan het werk zullen zijn. Wanneer de langste taken pas op het einde uitgevoerd worden, kan er vertraging optreden doordat er geen werknemers beschikbaar zijn. Wanneer de langste taken in het begin uitgevoerd worden en de kortste dus op het einde, is dit veel minder het geval.

Aantal taken	Duurtijd	Ratio		
	Random	Shortest Processing Time First	Longest Processing Time First	Least Difficult Tasks First
1000	4158	1,016	0,864	0,885
2000	7816	0,950	0,863	0,871
3000	11542	0,929	0,861	0,870
4000	15302	0,934	0,871	0,866
5000	19152	0,942	0,886	0,867
6000	22949	0,933	0,883	0,868
7000	26835	0,918	0,878	0,862
8000	30660	0,916	0,877	0,864
9000	34287	0,920	0,878	0,866
10000	38255	0,911	0,880	0,869
Gemiddelde		0,937	0,874	0,869

Tabel 7.21: Ratioanalyse voor verschillende priority rules taakselectie bij Best fit methode (ratio(priority rule,random))

Conclusie. De testen hebben aangetoond dat het **gebruik van priority rules zeker aan te raden is bij de taakselectie**. Zowel bij de FCFS als de best-fit methode werden priority rules gevonden die beter presteerden dan het willekeurig selecteren van taken. Het feit dat de priority rules niet dezelfde effecten hebben bij de FCFS en de best-fit methode wijst erop dat de **performantie van de priority rules afhankelijk is van de toewijzingsmethode die wordt gehanteerd**. Daarom moet bij iedere specifieke situatie op zoek gegaan worden naar de best presterende priority rule (Sels *et al.*, 2012).

Experiment 12: Toepassen van andere toewijzingsmethodes voor toewijzen werknemers

Tot hiertoe hebben we tijdens het uitvoeren van de testen vooral op de FCFS en/of de best-fit methode gefocust. We gingen ook op zoek naar de mogelijke voordelen van een hybride methode (zie sectie 7.1.2.2). Natuurlijk zijn er nog heel wat andere toewijzingsmethodes denkbaar. In deze set van experimenten zullen we enkele ervan, die toepasbaar zijn op ons testdesign, uittesten en vergelijken met de FCFS en best-fit methode²⁰.

De eerste toewijzingsmethode die we zullen uittesten is de **highest estSkillLevel methode**. Hierbij wordt telkens de werknemer met het hoogste *estSkillLevel* uit de set met beschikbare

²⁰Aangezien de hybride methode niet beter presteert dan de FCFS of best-fit methode voor korte & lange taken en er reeds een aparte reeks van experimenten voor de hybride methode uitgevoerd werd (zie sectie 7.1.2.2), werd de hybride methode niet opgenomen in experiment 12.

werknemers (*AVAILABLE*) aan de taak toegewezen. Deze toewijzingsmethode probeert om zoveel mogelijk taken door werknemers met een hoog *estSkillLevel* te laten uitvoeren omdat de kans dat de taak niet kan uitgevoerd worden door de geselecteerde werknemer ($actualSkillLevel < difficulty$) dan klein is. Deze methode kan ook gezien worden als de worst-fit methode, het omgekeerde van de best-fit methode²¹. Het toewijzen van de werknemer met het hoogste *estSkillLevel* stemt immers overeen met het toewijzen van de werknemer met de hoogste *fitValue* ($E.fitValue = E.estSkillLevel - D.difficulty$).

Een tweede toewijzingsmethode die getest zal worden, is de **good fit methode**. In plaats van op zoek te gaan naar de werknemer met de beste fit (= laagste *fitValue*), gaat men op zoek naar een werknemer met een goede fit ($E.fitValue < 0,1$). De eerste werknemer die aan dit criterium voldoet, wordt aan de taak toegewezen. Indien geen enkele van de beschikbare werknemers aan het criterium voldoet, wordt de werknemer met de laagste *fitValue* toegewezen. Deze situatie zal zich hoofdzakelijk voordoen in het begin, waar *learning* nog geen/weinig invloed gehad heeft. Door de good fit methode toe te passen, zal er sneller een werknemer geselecteerd kunnen worden dan bij de best-fit methode en zijn er meer werknemers die in aanmerking komen om de taak uit te voeren.

Een derde toewijzingsmethode die onderzocht zal worden, is de **easy FCFS methode**. Hierbij wordt de FCFS methode toegepast, maar wordt er geen rekening gehouden met het *estSkillLevel* van de werknemers ($E.estSkillLevel$ moet niet groter zijn dan $D.difficulty$). De toewijzing gebeurt dus volledig willekeurig. Men zou bijvoorbeeld kunnen beslissen om geen rekening te houden met het *estSkillLevel* omdat de kosten om deze informatie voor iedere werknemer bij te houden te hoog zijn in vergelijking met de voordelen ervan.

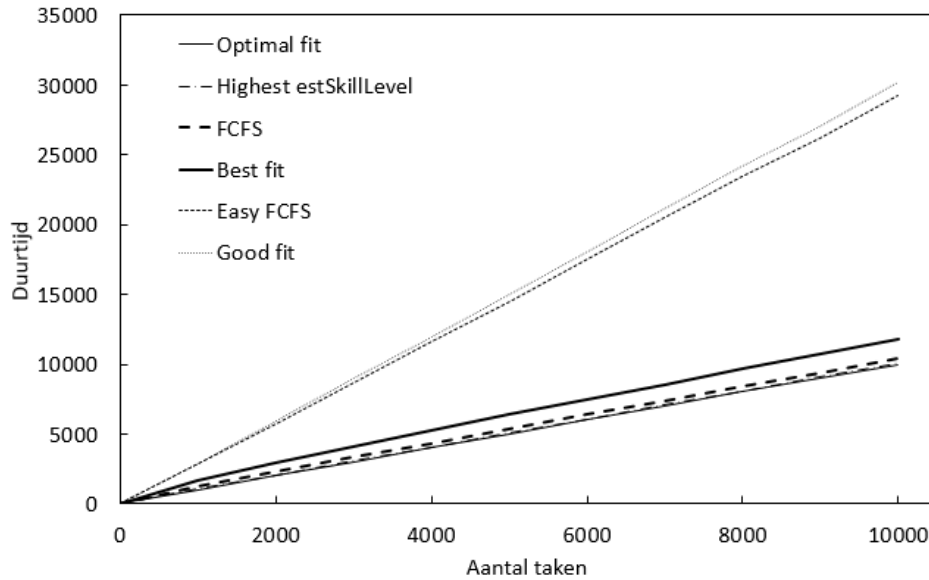
Tot slot zullen we ook de **optimal fit methode** toepassen. Hier gaan we ervan uit dat alle werknemers alle taken kunnen uitvoeren ($actualSkillLevel = 1$). Deze situatie zal leiden tot de kortst mogelijke duurtijd voor het uitvoeren van alle taken en wordt dan ook als benchmark gebruikt om de andere methodes te beoordelen. De parameterwaarden die tijdens dit experiment gebruikt worden, zijn beschikbaar in tabel 7.22. Zoals u kan zien in tabel 7.22 zullen we de experimenten opnieuw afzonderlijk uitvoeren voor korte en lange taken.

²¹Bij de best-fit methode wordt de werknemer met de minimale, positieve *fitValue* aan de taak toegewezen.

	Taakkarakteristieken			Werknemerskarakteristieken		Priority rule taakselectie	Toewijzings- methode	learning
	Gem. duration	Stdafw. duration	difficulty	estSkillLevel	actualSkillLevel			
1	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
2	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	ja
3	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Highest est- SkillLevel	ja
4	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Good fit	ja
5	10	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Easy FCFS	ja
6	10	0	rand(0,0;0,9)	1	1	random	Optimal fit	ja
7	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	FCFS	ja
8	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Best fit	ja
9	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Highest est- SkillLevel	ja
10	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Good fit	ja
11	500	0	rand(0,0;0,9)	1	rand(0,0;1,0)	random	Easy FCFS	ja
12	500	0	rand(0,0;0,9)	1	1	random	Optimal fit	ja

Tabel 7.22: Parametertabel experiment 12

Korte taken. Op figuur 7.21 worden de duurtijden van de verschillende toewijzingsmethodes voor een variërend aantal korte taken weergegeven. De toewijzingsmethode die de optimal fit methode (= de benchmark) het best benadert, is de highest estSkillLevel methode. Omdat de verschillen tussen beide methodes zo klein zijn, is het zelfs zeer moeilijk om beide rechten op de grafiek te onderscheiden. Daarom werd tabel 7.23 opgenomen. In deze tabel worden in de eerste kolom het aantal uit te voeren taken weergegeven, in de tweede kolom de benodigde duurtijd van de optimal fit methode (= de benchmark) en in de overige kolommen een ratio ($ratio(\text{toewijzingsmethode}, \text{optimal fit}) = \text{duurtijd}_{\text{toewijzingsmethode}} / \text{duurtijd}_{\text{optimal fit}}$) die de duurtijd van de toewijzingsmethode in kwestie vergelijkt met de duurtijd van de benchmark. In de laatste rij werd telkens het gemiddelde van de ratio's genomen.



Figuur 7.21: Vergelijking toewijzingsmethodes met duurtijd taken 10 tijdseenheden

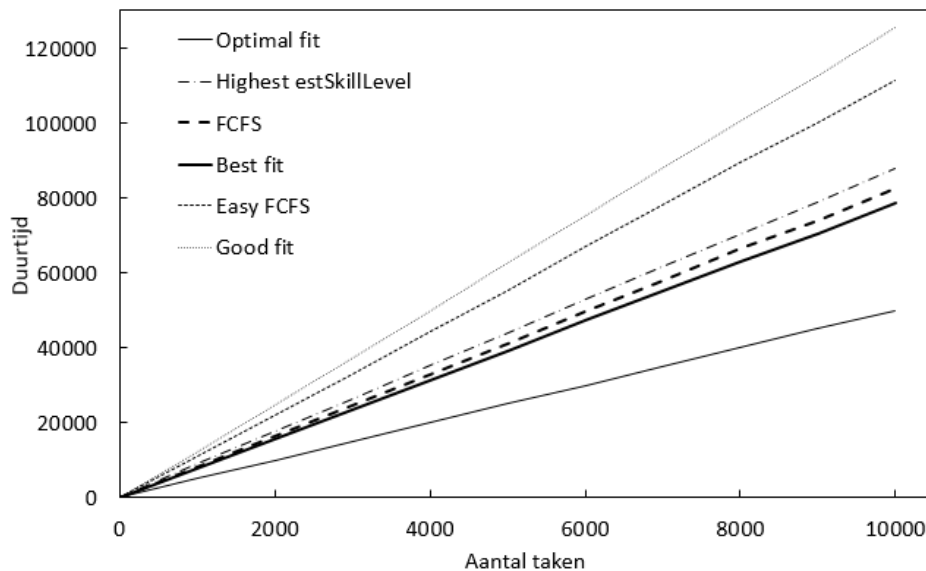
Aantal taken	Duurtijd		Ratio			
	Optimal fit	Highest estSkillLevel	FCFS	Best fit	Easy FCFS	Good fit
1000	1010	1,075	1,266	1,682	2,828	2,899
2000	2010	1,038	1,157	1,465	2,854	2,942
3000	3010	1,025	1,114	1,373	2,884	2,977
4000	4010	1,019	1,090	1,319	2,898	2,987
5000	5010	1,015	1,073	1,278	2,903	2,997
6000	6010	1,013	1,062	1,249	2,920	3,012
7000	7010	1,011	1,054	1,224	2,920	3,011
8000	8010	1,009	1,048	1,204	2,931	3,018
9000	9010	1,008	1,043	1,188	2,911	3,006
10000	10010	1,008	1,039	1,174	2,923	3,015
Gemiddelde		1,022	1,095	1,316	2,897	2,987

Tabel 7.23: Ratioanalyse voor verschillende toewijzingsmethodes met duurtijd taken 10 tijdseenheden (ratio(toewijzingsmethode,optimal fit))

Deze ratio's maken duidelijk dat de highest estSkillLevel methode slechts een paar percent slechter presteert dan de benchmark en duidelijk beter presteert dan alle andere toewijzingsmethodes. **Bij korte taken is de highest estSkillLevel methode dus de best presterende methode.** Door de taken telkens door de werknemer met het hoogste *estSkillLevel* te laten uitvoeren, is de kans dat de taak niet kan uitgevoerd worden immers klein. Bovendien zijn deze werknemers snel weer beschikbaar bij het uitvoeren van korte taken. Bij deze methode zullen alle taken dus door een beperkte groep van zeer competente werknemers uitgevoerd worden.

Verder maken figuur 7.21 en tabel 7.23 duidelijk dat de **good fit en easy FCFS methode zeer slecht presteren ten opzichte van de andere methodes**. Het toepassen van de good fit methode, die een minder strikte variant van de best fit methode is en de easy FCFS methode, die een minder strikte variant van de FCFS methode is, is dus geen goed idee.

Lange taken. Figuur 7.22 en tabel 7.24, die op dezelfde wijze als bij korte taken werden opgesteld, tonen de performantie van de toewijzingsmethodes bij lange taken. Een eerste opvallende vaststelling is het feit dat **de geteste toewijzingsmethodes veel verder van de benchmark verwijderd zijn dan bij korte taken**. Dit komt doordat het uitvoeren van een taak bij lange taken veel langer duurt dan bij korte taken. Hierdoor zal er lang(er) gewacht moeten worden op competente werknemers om de taak uit te voeren²².



Figuur 7.22: Vergelijking toewijzingsmethodes met duurtijd taken 500 tijdseenheden

²²Bij de benchmark is dit minder het geval aangezien alle werknemers alle taken kunnen uitvoeren.

Aantal taken	Duurtijd	Ratio				
	Optimal fit	Best fit	FCFS	Highest estSkillLevel	Easy FCFS	Good fit
1000	5100	1,515	1,615	1,779	2,175	2,446
2000	10100	1,531	1,625	1,756	2,185	2,469
3000	15100	1,544	1,632	1,756	2,199	2,478
4000	20100	1,551	1,639	1,755	2,212	2,491
5000	25100	1,560	1,644	1,755	2,215	2,498
6000	30100	1,571	1,652	1,761	2,230	2,506
7000	35100	1,568	1,647	1,758	2,224	2,505
8000	40100	1,572	1,656	1,757	2,230	2,508
9000	45100	1,562	1,643	1,749	2,221	2,499
10000	50100	1,568	1,648	1,754	2,227	2,506
Gemiddelde		1,554	1,640	1,758	2,212	2,491

Tabel 7.24: Ratioanalyse voor verschillende toewijzingsmethodes met duurtijd taken 500 tijdseenheden (ratio(toewijzingsmethode,optimal fit))

Verder zien we dat de **best-fit methode het best presteert van alle geteste toewijzingsmethodes**. De **highest estSkillLevel methode**, die bij korte taken het best presteerde, **presteert hier duidelijk minder goed**. De oorzaak hiervan moeten we zoeken in het feit dat door het toepassen van deze toewijzingsregel de beste werknemers (deze met het hoogste *estSkillLevel*) eerst zullen toegewezen worden. Deze zullen echter lang bezig zijn met het uitvoeren van hun taak. Hierdoor moeten voor de volgende taken ook werknemers met een lager *estSkillLevel* geselecteerd worden. Bij deze werknemers is de kans echter groter dat ze de taak niet zullen kunnen uitvoeren. Ook hier moet er dus gewacht worden totdat de meest competente werknemers weer beschikbaar zijn.

Net zoals bij de korte taken **presteren de good fit en easy FCFS methode zeer slecht ten opzichte van de andere methodes**. We raden hier dus ook af om deze toewijzingsmethodes toe te passen.

Conclusies experimenten 5 tem 12

In experimenten 5 en 6 werd een hybride methode vergeleken met de FCFS en best-fit methode voor verschillende taakduurtijden. **Bij korte (10 tijdseenheden) en lange taken (500 tijdseenheden) leverde het toepassen van de hybride methode geen voordelen op. Bij middellange taken (100 tijdseenheden) was dit wel het geval.** In experiment 6 kwamen we tot de conclusie dat wanneer 100 werknemers 10000 middellange taken moeten uitvoeren, er idealiter gestart wordt met de FCFS methode en dat er dan op $t = 800$ overgeschakeld

moet worden op de best-fit methode.

In experiment 7 werkten we bij het eerste deelexperiment met een takenset bestaande uit taken met variërende duurtijden (tussen de 1 en 500 tijdseenheden, gem. 250 tijdseenheden). De twee uitgeteste **hybride methodes presteerden even goed, maar niet beter dan de best-fit methode** (die op haar beurt duidelijk beter presteerde dan de FCFS methode). In het tweede deelexperiment werd de takenmix bestaande uit korte (tussen de 1 en 50 tijdseenheden) en lange (tussen de 51 en 500 tijdseenheden) taken op een gestructureerde manier aangepast. Uit dit experiment bleek dat de **best-fit methode het best presteert wanneer de takenset minimum 20% lange taken bevat. Wanneer de takenset uit 90% of 100% korte taken bestaat, presteert de FCFS methode beter.**

In experiment 8 werden centrale en decentrale toewijzing met elkaar vergeleken. **Bij korte taken** presteerde de **decentrale toewijzingsmethode het best, bij lange taken de centrale toewijzingsmethode**. De best-fit methode presteerde telkens beter dan de FCFS methode, behalve bij centrale toewijzing voor korte taken.

In experiment 9 werd gefocust op de parameters *learning* en het vaardigheidsniveau (*estSkillLevel* en *actualSkillLevel*) van de werknemers. Wanneer de werknemers op voorhand op de hoogte zijn van hun eigen vaardigheidsniveau (*estSkillLevel* = *actualSkillLevel*), zullen de taken sneller uitgevoerd worden dan wanneer ze niet op de hoogte zijn en *learning* niet mogelijk is. Er zijn echter weinig/geen voordelen merkbaar ten opzichte van de situatie waarbij de werknemers niet op de hoogte zijn, maar wel kunnen leren. **Zoals verwacht levert de situatie waarbij alle werknemers alle taken kunnen uitvoeren (*actualSkillLevel* = 1) de beste resultaten op.**

In experiment 10 lieten we het aantal werknemers variëren. De experimenten toonden aan dat het **aantal werknemers een veel grotere invloed heeft op de duurtijd voor het uitvoeren van 10000 lange taken dan op de duurtijd voor het uitvoeren van 10000 korte taken**. Uiteraard speelt de grootteorde waarmee we het aantal werknemers laat variëren ook een belangrijke rol.

In experiment 11 werden verschillende priority rules voor het selecteren van de uit te voeren taak getest. De testen hebben aangetoond dat het **gebruik van priority rules zeker aan**

te raden is bij de taakselectie. Het feit dat de priority rules niet dezelfde effecten hebben bij de FCFS en de best-fit methode wijst erop dat de **performantie van de priority rules afhankelijk is van de toewijzingsmethode die wordt gehanteerd**. Daarom moet bij iedere specifieke situatie op zoek gegaan worden naar de best presterende priority rule.

In experiment 12 werden een aantal andere toewijzingsmethodes vergeleken met de FCFS en best-fit methode. Bij **korte taken** werd er een toewijzingsmethode gevonden die beter presteert dan deze methodes, namelijk de **highest estSkillLevel methode**. Bij **lange taken** kwam de **best-fit methode** nog steeds als de best presterende methode uit het onderzoek. De good fit en easy FCFS methode presteerden duidelijk slechter dan alle andere geteste toewijzingsmethodes.

7.2 Vergelijking toewijzingsmethodes op basis van data Delhaize Watersportbaan

In deze sectie zullen we een aantal experimenten uit sectie 7.1 opnieuw uitvoeren, maar nu op de data van Delhaize Watersportbaan in plaats van de eerder gebruikte fictieve data. In sectie 7.2.1 wordt een **beknopt overzicht gegeven van de benodigde data** voor het uitvoeren van de experimenten. Ook de toegepaste assumpties om de *real-life* data in dit testdesign te kunnen gebruiken, worden uitgelegd. In sectie 7.2.2 worden dan **3 experimenten** uitgevoerd. Het eerste experiment vergelijkt de **centrale en decentrale toewijzingsmethode**. Het tweede experiment vergelijkt de mogelijke priority rules voor het **selecteren van een taak**. Het derde experiment vergelijkt de mogelijke **toewijzingsmethodes om werknemers aan taken toe te wijzen**.

7.2.1 Data Delhaize Watersportbaan

Zoals reeds vermeld werd in hoofdstuk 6, sectie 6.1 Basisgegevens Delhaize Watersportbaan, bestaat Delhaize Watersportbaan uit **6 afdelingen**. Dagelijks moet er in iedere afdeling een **set van taken** uitgevoerd worden. Voorbeelden van dergelijke taken zijn: Ontvangen & controleren van goederen, Aanvullen van de winkelrekken, Schoonmaken, . . . Per afdeling zijn er ook een **aantal werknemers beschikbaar** om deze taken uit te voeren.

Tabel 7.25 toont de **gegevens voor een doorsnee werkdag**²³. Deze werden gebruikt voor het uitvoeren van de experimenten in sectie 7.2.2.

Afdeling	Aantal Werknemers	Gem. actual- SkillLevel	Aantal taken	Gem. Duurtijd	Gem. Difficulty
Centre store	7	0,53	94	54	0,45
Fruit & Groenten	2	0,80	28	59	0,49
Zuiv., charc., diepvr.	3	0,82	54	40	0,42
Beenhouwerij & Vis	3	0,47	62	33	0,43
Bakkerij & Ber. Maalt.	3	0,78	59	36	0,40
Front End	7	0,65	31	170	0,44
Totaal	25	0,64	328	56	0,43

Tabel 7.25: Data werknemers en taken Delhaize Watersportbaan

Het aantal **werknemers** per afdeling fluctueert in de realiteit doorheen de dag. Voor het uitvoeren van de experimenten hebben we het gemiddeld aantal werknemers gebruikt. In totaal zijn er 25 werknemers beschikbaar. In de realiteit werkt een werknemer gedurende een shift van 4 tot 9 uur (inclusief pauze). Hier gaan we ervan uit dat de werknemers beschikbaar zijn totdat alle taken uitgevoerd werden. Voor het vaardigheidsniveau van de werknemers (*actualSkillLevel*) werd aan iedere werknemer een getal tussen 0 en 1 toegewezen. Dit gebeurde in samenspraak met de directrice van Delhaize Watersportbaan. We zien dat het gemiddelde vaardigheidsniveau van alle werknemers 0,64 bedraagt. Dit is duidelijk hoger dan het gemiddeld vaardigheidsniveau dat bij de experimenten met fictieve data (0,5) gebruikt werd en wijst erop dat de directrice het vaardigheidsniveau van haar werknemers hoog inschat.

Het aantal uit te voeren **taken** verschilt sterk per afdeling. In totaal zijn er 328 taken. Ook de gemiddelde duurtijd van de taken (uitgedrukt in minuten) varieert sterk. Bij de front end afdeling is dit beduidend hoger dan bij de andere afdelingen. Dit komt doordat het bemannen van de kassa tot deze afdeling behoort. Dit is typisch een taak die enkele uren duurt. De maximale duurtijd van een taak bedraagt 4 uur (240 minuten). De gemiddelde *difficulty* van de taken schommelt rond de 0,45. Dit wil zeggen dat er ongeveer evenveel gemakkelijke en moeilijke taken zijn.

Belangrijk om weten is dat in de realiteit, bij Delhaize Watersportbaan, bepaalde taken opgesplitst kunnen worden (*task splitting*). Hierbij begint men aan een bepaalde taak, voert

²³De data van dinsdag 29 september 2015 werden gebruikt. Binnen Delhaize Watersportbaan wordt dinsdag als een doorsnee werkdag beschouwd omdat de omzet niet opvallend hoog of laag is (tov de andere weekdays).

dan één of meerdere andere taken uit en werkt dan de eerste taak verder af. Bovendien kunnen bij Delhaize Watersportbaan meerdere werknemers tegelijk aan een bepaalde taak werken, waardoor de benodigde duurtijd voor het uitvoeren van deze taak beduidend lager is. Tijdens de experimenten werd er echter **geen rekening gehouden met task splitting en de mogelijkheid om een taak door meerdere werknemers uit te laten voeren**. Verder wordt ook **geen rekening gehouden met het feit dat sommige taken misschien nog opgedeeld kunnen worden in bepaalde deeltaken**, die eventueel afzonderlijk uitgevoerd kunnen worden. Deze assumpties werden gemaakt omdat de verkregen data niet toelieten om een gedetailleerdere analyse te maken.

Bij het uitvoeren van de testen werd ook verondersteld dat er **geen enkele restrictie is met betrekking tot de taakvolgorde, er geen deadlines zijn voor bepaalde taken, ...** Dit is een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid. In de realiteit zullen er bijvoorbeeld wel deadlines zijn voor bepaalde taken. Denk maar aan het lossen van een vrachtwagen met groenten en fruit. Deze moet bij aankomst zo snel mogelijk gelost worden om de versheid van de producten te bewaren. Wanneer men dit uitstelt, kunnen bepaalde producten bederven. Delhaize Watersportbaan houdt dergelijke data echter niet nauwkeurig bij. Bovendien wordt er vooral op het moment zelf beslist wat er allemaal moet gebeuren en in welke volgorde. Deze beslissingen worden genomen door de afdelingschef op basis van zijn/haar ervaring. Door het gebrek aan data met betrekking tot extra restricties voor het selecteren en uitvoeren van taken, werden er dus **geen extra restricties opgelegd bij het uitvoeren van de experimenten**.

7.2.2 Experimenten Delhaize Watersportbaan

Experiment 1: Vergelijking centrale en decentrale toewijzing

Zoals reeds vermeld werd in hoofdstuk 6, sectie 6.1 Basisgegevens Delhaize Watersportbaan, voeren de werknemers bij Delhaize Watersportbaan taken uit binnen een bepaalde afdeling. Momenteel is het niet mogelijk dat werknemers van de ene afdeling taken op een andere afdeling uitvoeren. Aangezien de huidige directeur de waarde van *cross-trained* werknemers (zie ook deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 3, sectie 3.3.2 Stap 4: Real-time controle) inziert en eigenlijk zou willen dat alle werknemers alle taken op alle afdelingen kunnen uitvoeren,

zullen we in dit experiment **de huidige decentrale toewijzing**²⁴ **vergelijken met een centrale toewijzing**²⁵. Voor zowel centrale als decentrale toewijzing zullen we de FCFS en best-fit methode toepassen en met elkaar vergelijken. Tabel 7.26 toont een deel van de parameterwaarden die gebruikt werden tijdens dit experiment. De andere parameterwaarden in verband met taak- en werknemerkenmerken werden reeds in tabel 7.25 (zie sectie 7.2.1) getoond.

	estSkillLevel	Priority rule taakselectie	Toewijzings- methode	learning
1	1	random	FCFS centraal	ja
2	1	random	FCFS decentraal	ja
3	1	random	Best fit centraal	ja
4	1	random	Best fit decentraal	ja

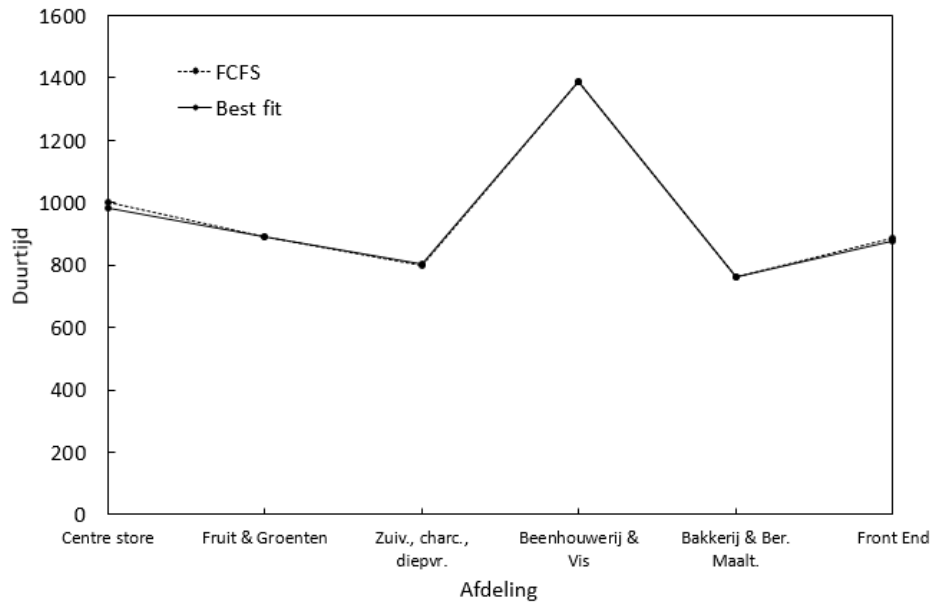
Tabel 7.26: Parametertabel experiment 1 Delahaize Watersportbaan

Figuur 7.23 toont de **resultaten**²⁶ **voor decentrale toewijzing**. Een eerste opvallende vaststelling is dat er **nauwelijks een verschil is tussen de FCFS en best-fit methode**. Dit komt doordat het aantal uit te voeren taken per afdeling beperkt is. Bij de experimenten met fictieve data hadden we reeds ondervonden dat het verschil tussen de FCFS en best-fit methode bij een kleine hoeveelheid taken beperkt is, maar steeds duidelijker wordt met een toenemend aantal taken. Verder zien we dat de **totale benodigde duurtijd bij de afdeling Beenhouwerij & Vis duidelijk hoger is dan bij de andere afdelingen**. Dit komt doordat deze afdeling een beduidend lagere gemiddelde *actualSkillLevel* heeft dan de andere afdelingen (zie tabel 7.25), bovendien werken er maar 3 werknemers in deze afdeling. Hierdoor zal het in deze afdeling meer voorkomen dan in andere afdelingen dat een bepaalde taak niet kan uitgevoerd worden omdat er geen competente werknemer beschikbaar is.

²⁴Bij de decentrale toewijzing moeten de beschikbare werknemers per afdeling de taken van deze afdeling uitvoeren.

²⁵Bij de centrale toewijzing wordt er geen onderscheid meer per afdeling gemaakt. De 25 beschikbare werknemers moeten 328 taken uitvoeren.

²⁶De duurtijden die in dit en volgende experimenten gerapporteerd worden, zijn uitgedrukt in minuten. Deze duurtijden kunnen niet vergeleken worden met de werkelijke duurtijden voor het uitvoeren van de taken. Dit komt door de manier waarop het basisalgoritme, dat hier gebruikt wordt, werknemers aan taken toewijst. Het testdesign dat hier gebruikt wordt, is wel geschikt om verschillende opties met elkaar te vergelijken.



Figuur 7.23: FCFS vs. Best fit voor verschillende afdelingen Delhaize Watersportbaan

In tabel 7.27 worden de **resultaten van de centrale en decentrale toewijzing** met elkaar vergeleken. In de eerste 2 kolommen worden de duurtijden bij de FCFS en best-fit methode weergegeven. Bij de decentrale toewijzing werd hiervoor de duurtijd van de langstwerkende afdeling genomen. De ratio's op de derde rij, waarbij $ratio(\text{gecentraliseerd}, \text{gedecentraliseerd}) = \text{duurtijd}_{\text{gecentraliseerd}} / \text{duurtijd}_{\text{gedecentraliseerd}}$, tonen aan dat de **centrale toewijzing duidelijk beter presteert dan de decentrale toewijzing**. Dit komt door de flexibiliteit van de werknemers. Alle werknemers kunnen immers alle taken uitvoeren. Hierdoor kunnen werknemers die normaal gezien in een andere afdeling werken, taken uitvoeren in de Beenhouwerij & Vis afdeling, waar er soms een tekort is aan competente werknemers (cfr. supra). Dit reduceert de totale duurtijd voor het uitvoeren van alle taken aanzienlijk. De ratio's in de derde kolom, waarbij $ratio(\text{FCFS}, \text{Best-fit}) = \text{duurtijd}_{\text{FCFS}} / \text{duurtijd}_{\text{Best-fit}}$, tonen aan dat er **nauwelijks verschillen merkbaar zijn tussen de FCFS en best-fit methode**. Bij de decentrale toewijzing is het verschil nihil, bij de centrale toewijzing is het verschil klein.

	FCFS	Best-fit	Ratio (FCFS/Best-fit)
Gecentraliseerd	970	946	1,025
Gedecentraliseerd	1386	1390	0,997
Ratio (Centr/Decentr)	0,700	0,681	

Tabel 7.27: Samenvattende tabel centrale vs. decentrale toewijzing Delhaize Watersportbaan**Experiment 2: Toepassen van priority rules voor taakselectie**

In deze tweede set van experimenten²⁷ wordt de **performantie van verschillende priority rules** voor het selecteren van taken bij Delhaize Watersportbaan met elkaar vergeleken. De experimenten werden uitgevoerd voor de FCFS en best-fit methode. De priority rules²⁸ die gebruikt werden zijn: Random, Shortest Processing Time First (SPTF), Longest Processing Time First (LPTF), Least Difficult Tasks First (LDTF) en Most Difficult Tasks First (MDTF). Tabel 7.28 toont een deel van de parameterwaarden die gebruikt werden tijdens dit experiment. De andere parameterwaarden in verband met taak- en werknemerkenmerken werden reeds in tabel 7.25 (zie sectie 7.2.1) getoond.

	estSkillLevel	Priority rule taakselectie	Toewijzings- methode	learning
1	1	random	FCFS	ja
2	1	SPTF	FCFS	ja
3	1	LPTF	FCFS	ja
4	1	LDTF	FCFS	ja
5	1	MDTF	FCFS	ja
6	1	random	Best fit	ja
7	1	SPTF	Best fit	ja
8	1	LPTF	Best fit	ja
9	1	LDTF	Best fit	ja
10	1	MDTF	Best fit	ja

Tabel 7.28: Parametertabel experiment 2 Delhaize Watersportbaan

Tabel 7.29 toont de resultaten. In de eerste kolom wordt de duurtijd van random (willekeurige) taakselectie weergegeven. In de overige kolommen wordt een ratio, die de performantie van de

²⁷Experimenten 2 & 3 werden uitgevoerd voor centrale toewijzing, waarbij er 25 werknemers beschikbaar zijn om 328 taken uit te voeren. Er werd hiervoor gekozen omdat enerzijds werd aangetoond in Experiment 1 dat de centrale toewijzingsmethode duidelijk beter presteert dan de decentrale, anderzijds is het aantal werknemers & taken per afdeling te laag om bruikbare verschillen tussen de verschillende methodes te bekomen.

²⁸Voor meer uitleg in verband met de geteste priority rules zie sectie 7.1.2, experiment 11.

geteste priority rule vergelekt met de performantie van random selectie, getoond. Deze ratio werd als volgt berekend: $ratio(priority\ rule, random) = duurtijd_{priority\ rule} / duurtijd_{random}$. Alle ratio's zijn duidelijk groter dan 1. Hierdoor kunnen we concluderen dat **random taakselectie de beste selectieprocedure is voor Delhaize Watersportbaan**. Dit is een opvallende vaststelling, want bij de experimenten met fictieve data (zie sectie 7.1.2, experiment 11) was dit zeker niet het geval. Zoals echter reeds vermeld werd, hangt de meest geschikte priority rule voor taakselectie af van de specifieke situatie (Sels *et al.*, 2012). Bij Delhaize Watersportbaan worden de taken blijkbaar het snelst uitgevoerd wanneer dit in een willekeurige volgorde gebeurt. Taken groeperen op basis van een bepaalde eigenschap, levert hier geen tijdsvoordeel op.

	Duurtijd	Ratio			
Toewijzingsmethode	Random	SPTF	LPTF	LDTF	MDTF
FCFS	970	1,123	1,069	1,077	1,062
Best fit	946	1,159	1,103	1,087	1,064

Tabel 7.29: Ratioanalyse voor verschillende priority rules taakselectie bij Delhaize Watersportbaan (ratio(priority rule,random))

Experiment 3: Vergelijking toewijzingsmethodes voor toewijzen werknemers

In deze derde set van experimenten wordt de **performantie van verschillende toewijzingsmethodes** voor het toewijzen van werknemers aan taken bij Delhaize Watersportbaan met elkaar vergeleken. Opnieuw werd de optimal fit methode (waarbij voor alle werknemers geldt: $actualSkillLevel = 1$) gebruikt om de kortst mogelijke duurtijd²⁹ voor het uitvoeren van alle taken te bepalen. Deze waarde wordt dan als benchmark gebruikt om de geteste toewijzingsmethodes mee te vergelijken. De geteste toewijzingsmethodes³⁰ zijn: FCFS, best-fit, highest estSkillLevel, easy FCFS en good fit. Tabel 7.30 toont een deel van de parameterwaarden die gebruikt werden tijdens dit experiment. De andere parameterwaarden in verband met taak- en werknemerkenmerken werden reeds in tabel 7.25 (zie sectie 7.2.1) getoond.

²⁹Deze minimale duurtijd werd bekomen door de optimal fit methode toe te passen voor 100.000 *runs* en dan het minimum te nemen.

³⁰Voor meer uitleg in verband met de geteste toewijzingsmethodes zie sectie 7.1.2.4, experiment 12.

	estSkillLevel	Priority rule taakselectie	Toewijzings- methode	learning
1	1	random	FCFS	ja
2	1	random	Best fit	ja
3	1	random	Highest estSkillLevel	ja
4	1	random	Good fit	ja
5	1	random	Easy FCFS	ja
6	1	random	Optimal fit	ja

Tabel 7.30: Parametertabel experiment 3 Delhaize Watersportbaan

Tabel 7.31 toont de resultaten. In de eerste rij wordt de duurtijd van iedere toewijzingsmethode weergegeven. In de tweede rij wordt een ratio³¹, die de performantie van de geteste toewijzingsmethode vergelijkt met de benchmark (= optimal fit), getoond. Op basis van deze cijfers kunnen we besluiten dat de **best-fit methode het best presteert**. Terwijl de performantie van de FCFS en highest estSkillLevel methode nog vrij dicht in de buurt komt, zien we dat de easy FCFS en good fit methode (net zoals bij de fictieve data) duidelijk slechter presteren.

Op basis van de testen met fictieve data was het **te verwachten dat de best-fit methode beter zou presteren dan de FCFS methode**. De taken set van Delhaize bestaat immers uit 71% korte taken (1-50 tijdseenheden) en 29% lange taken (51-500 tijdseenheden). In sectie 7.1.2.2, experiment 7 werd aangetoond dat wanneer de duurtijd van de taken varieert en de uit te voeren taken set niet voor 90% of meer uit korte taken bestaat, de best-fit methode het best zal presteren. Aangezien we hier 71% korte taken hebben, presteert de best-fit methode zoals verwacht het best.

	Optimal fit	Best fit	FCFS	Highest est- SkillLevel	Easy FCFS	Good fit
Duurtijd	812	946	970	998	1132	1294
Ratio	1,000	1,165	1,195	1,229	1,394	1,594

Tabel 7.31: Ratioanalyse voor verschillende toewijzingsmethodes bij Delhaize Watersportbaan (ratio(toewijzingsmethode,optimal fit))

³¹Deze ratio werd als volgt berekend:

$$ratio(toewijzingsmethode, optimal\ fit) = duurtijd_{toewijzingsmethode} / duurtijd_{optimal\ fit}.$$

Conclusies experimenten 1 tem 3 Delhaize Watersportbaan

In experiment 1 werd de **huidige decentrale toewijzing van Delhaize Watersportbaan vergeleken met centrale toewijzing**. De resultaten toonden aan dat er **bij centrale toewijzing**, waarbij *cross-trained* werknemers taken op alle afdelingen kunnen uitvoeren, **duidelijk minder tijd nodig is om alle taken uit te voeren dan bij decentrale toewijzing**. Dit komt hoofdzakelijk doordat bij decentrale toewijzing iedere afdeling verantwoordelijk is voor het uitvoeren van haar eigen taken. Wanneer er in een bepaalde afdeling niet genoeg competente werknemers aanwezig zijn, zal de benodigde duurtijd voor het uitvoeren van de taken snel oplopen. Bij de centrale toewijzing wordt dit probleem opgelost doordat alle werknemers taken op alle afdelingen kunnen uitvoeren. Bij het maken van de keuze tussen centrale en decentrale toewijzing, moet men echter ook rekening houden met de inspanningen die nodig zijn om alles te coördineren.

In experiment 2 werden **verschillende priority rules** voor het selecteren van de uit te voeren taak getest. **Random taakselectie kwam bij Delhaize Watersportbaan als beste selectieprocedure naar voor**. Het groeperen van taken op basis van een bepaalde eigenschap (vb. eerst alle korte taken uitvoeren), levert bij Delhaize Watersportbaan geen tijdsvoordeel op.

In experiment 3 werden **verschillende toewijzingsmethodes** voor het toewijzen van werknemers aan taken bij Delhaize Watersportbaan met elkaar vergeleken. De resultaten toonden aan dat de **best-fit methode het best presteert**. Op basis van de takenmix (71% korte taken en 29% lange taken) was dit het te verwachten resultaat (zie ook sectie 7.1.2.2, experiment 7).

7.3 Bijdrage van dit onderzoek

Na iedere reeks van experimenten werden de belangrijkste conclusies per experiment telkens samengevat in een aparte sectie (cfr. supra). Heel wat mogelijkheden met betrekking tot de eigenschappen van werknemers, taken en de toewijzingsmethode werden bestudeerd. Hierna volgt een kort overzicht van de bijdrage van dit onderzoek tot de bestaande literatuur.

De bijdrage van dit onderzoek situeert zich hoofdzakelijk op volgende vlakken:

- Het valideren van de resultaten van het onderzoek van Campbell & Wu (2007).
- Het uitvoeren van een sensitiviteitsanalyse door het laten variëren van bepaalde parameters uit het model.
- Het onderzoeken van de performantie van een hybride toewijzingsmethode.
- Het onderzoeken van de verschillen tussen centrale en decentrale toewijzing.
- Het testen van verschillende priority rules voor het selecteren van taken.
- Het onderzoeken van de performantie van andere toewijzingsmethodes.
- Het onderzoeken van de toewijzingsmethodes op *real-life* data.

Eén van de belangrijkste **bependingen van dit onderzoek** is het feit dat het gebruikte model een **zeer veréenvoudigde versie van de werkelijkheid** is, waardoor het zeer moeilijk is om dit model in de praktijk te gebruiken. Ook hier treedt het fenomeen van de **research-application gap** op. Vandaar dat de research-application gap in deze thesis ook van naderbij bestudeerd wordt (zie deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 5 en deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 8).

Een interessante mogelijkheid voor **verder onderzoek** zou dus kunnen zijn om het basismodel aan te passen, zodat het nauwer aansluit bij de realiteit en voor praktische toepassingen gebruikt kan worden. Door het model uit te breiden en meer parameters voor werknemers en taken op te nemen, kunnen ook nog veel meer priority rules voor taakselectie en toewijzingsmethodes voor het toewijzen van werknemers aan taken getest worden. Een andere mogelijke uitbreiding is rekening te houden met andere manieren van *learning*. Zo zou men het vaardigheidsniveau (*actualSkillLevel*) van een werknemer kunnen laten stijgen op basis van het aantal

taken dat deze werknemer reeds uitgevoerd heeft. Kortom, er zijn **heel wat mogelijkheden denkbaar om bepaalde parameters te laten variëren, meerdere parameters tegelijk te laten variëren, nieuwe parameters aan het model toe te voegen, ... die voor extra inzichten in het task allocation probleem kunnen zorgen.**

Verder kunnen ook **andere performantiemaatstaven**, zoals de bezettingsgraad gebruikt worden. Het bestuderen van de bezettingsgraad (i.e. gedurende hoeveel procent van de beschikbare tijd zijn de werknemers effectief taken aan het uitvoeren) voor verschillende testcondities kan tot interessante inzichten leiden. Op basis van de “ideale” bezettingsgraad zou men bijvoorbeeld kunnen bepalen hoeveel werknemers men idealiter nodig heeft om een bepaalde taken set uit te voeren.

Ook de **volgorde waarin de toewijzing gebeurt**, zou aangepast kunnen worden. In de experimenten die in deze thesis werden uitgevoerd, werd gebruik gemaakt van **sequentiële toewijzing**³². Op ieder tijdstip t kon er slechts één werknemer aan één taak toegewezen worden. Men zou nieuwe testen kunnen uitvoeren waarbij men gebruik maakt van **parallele toewijzing**. Hierbij kunnen op ieder tijdstip t meerdere werknemers toegewezen worden aan meerdere taken. Deze aanpassing zou de praktische toepasbaarheid van het algoritme verhogen, aangezien men in de praktijk meestal gebruik maakt van parallele toewijzing.

³²Enkel bij de decentrale toewijzingsmethode konden meerdere taken tegelijk gestart worden (1 per afdeling). In alle andere experimenten werd sequentiële toewijzing gebruikt.

Hoofdstuk 8

Research-application gap bij retailbedrijven

In deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 5 Research-application gap werd aangetoond dat de vele mathematische modellen en algoritmes, die ontwikkeld werden om personeelsplanningsproblemen zo efficiënt mogelijk op te lossen, in de praktijk nauwelijks toegepast worden. Nochtans is de personeelskost één van de belangrijkste kosten van de meeste Belgische bedrijven (zie ook deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 3, sectie 3.1 Belang personeelsplanning). Het gebruik van gespecialiseerde planningssoftware, die gebaseerd is op de algoritmes uit de literatuur, zou voor veel van deze bedrijven een kostenvoordeel kunnen opleveren (Segers, G., 2016).

In dit hoofdstuk zullen we op empirische wijze onderzoeken of deze **research-application gap ook aanwezig is bij Belgische retailbedrijven**. Hiervoor werd een online vragenlijst opgesteld, die door 107 retailbedrijven ingevuld werd. Het doel van deze vragenlijst is om na te gaan **welke planning tools door retailbedrijven gebruikt worden** bij het opstellen van de personeelsplanning en waarom ze deze planning tools gebruiken. Aangezien de gebruikte planning tool nauw samenhangt met de **complexiteit van het planningsprobleem** worden ook verschillende factoren, die deze complexiteit beïnvloeden, bevroegd. Voorbeelden hiervan zijn het gebruikte shiftsysteem, de preferenties van de werknemers en de cycliciteit van personeelsroosters. Tot slot kregen de bevroegde bedrijven ook nog de kans om hun mening over bepaalde issues te formuleren. Zo werd bijvoorbeeld gevraagd wat de belangrijkste problemen zijn bij het opstellen van een personeelsplanning. De aanpak van dit

onderzoek is gebaseerd op het onderzoek van Beliën *et al.* (2013), die de research-application gap bij productieondernemingen bestudeerden (zie ook deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 5, sectie 5.1 Overzicht literatuur). Tijdens de bespreking van de resultaten zal, indien relevant, naar dit onderzoek verwezen worden.

In de eerste sectie van dit hoofdstuk zal de gebruikte **methodologie** besproken worden (sectie 8.1). Hierna volgt een uitgebreide analyse van de **resultaten** van de bevraging (sectie 8.2). Tot slot worden de **conclusies van het onderzoek** besproken in een laatste sectie (sectie 8.3). Hier worden de resultaten van ons onderzoek ook getoetst met de bestaande literatuur en wordt de bijdrage van ons onderzoek toegelicht.

8.1 Methodologie

Zoals reeds vermeld werd in de inleidende tekst van dit hoofdstuk, werd ons onderzoek uitgevoerd op basis van een **online vragenlijst**. De vragenlijst was volledig **anoniem**. Op het einde van de vragenlijst werd de mogelijkheid geboden om een e-mailadres achter te laten wanneer men een verslag van het onderzoek wenste. De volledige vragenlijst is beschikbaar in bijlage E. Om de participatie te vergroten, werd deze vragenlijst bewust **kort en bondig** gehouden (19 korte vragen), zodat ze in 5-10 min ingevuld kon worden. De hoofdfocus ligt op de gebruikte planning tool, de reden hiervoor en de factoren die de complexiteit van het personeelsplanningsprobleem beïnvloeden. De vragenlijst werd opgesteld op basis van het onderzoek van Beliën *et al.* (2013) en werd **nagelezen en gevalideerd door Karl Indigne & Geert Segers van Protime**. Zij waren bereid om mee te werken aan dit onderzoek. Protime biedt (onder andere) gespecialiseerde planningssoftware aan voor het opstellen van een personeelsplanning. Hiermee proberen ze ervoor te zorgen dat het personeelsplanningsproces bij hun klanten zo efficiënt mogelijk verloopt. Protime werkt bovendien nauw samen met SD Worx, het grootste sociaal secretariaat van België.

SD Worx was bereid om de vragenlijst via e-mail te verspreiden onder hun retailklanten. De retailklanten van SD Worx zijn zeer divers qua grootte, subsector binnen de retail, ... en kunnen dus zeker als representatief voor de Belgische retailmarkt beschouwd worden (Segers, G., 2016). De vragenlijst hebben we zelf ook verspreid op basis van contactgegevens van retailbedrijven die beschikbaar zijn in de **Bel-first database**. Hierbij werden de bedrijven

met NACE-codes 46 & 47 gecontacteerd. Deze NACE-codes worden toegekend door het RSZ en de NACE-codes 46 & 47 stemmen overeen met Belgische retailbedrijven. Omdat deze NACE-codes niet altijd even accuraat zijn¹ (Segers, G., 2016), werd in de begeleidende e-mail telkens gevraagd of het bedrijf in kwestie voldeed aan de definitie van een retailbedrijf die we in hoofdstuk 2, sectie 2.1 introduceerden. Enkel wanneer dit het geval was, mocht de vragenlijst ingevuld worden. Ook de retailbedrijven die geselecteerd werden via de Bel-first database kunnen als representatief voor de Belgische retailmarkt beschouwd worden (Segers, G., 2016). Het is wel belangrijk om te vermelden dat de vragenlijst in het Nederlands werd opgesteld en dus enkel door Vlaamse bedrijven werd ingevuld. De Vlaamse en Waalse retailsector zijn echter zeer gelijkaardig, waardoor de resultaten van dit onderzoek als representatief voor België beschouwd kunnen worden (Segers, G., 2016).

De vragenlijst werd door **107 retailbedrijven** volledig² ingevuld. Zoals reeds vermeld werd in hoofdstuk 2, bestaat de retailsector uit heel wat verschillende subsectoren. Deze variatie werd ook duidelijk weerspiegeld in het **soort retailbedrijven dat de vragenlijst invulde**. Supermarkten, kledingwinkels, doe-het-zelf zaken, tuincentra, meubelwinkels, . . . zijn slechts enkele voorbeelden van het soort bedrijven dat de vragenlijst invulden. Ondanks de grote variatie zijn er 2 soorten retailbedrijven die duidelijk meer in de steekproef voorkomen dan de andere, namelijk bedrijven die actief zijn in mode en voeding. Dit is geen verrassing aangezien er zeer veel dergelijke bedrijven actief zijn op de Belgische retailmarkt (Segers, G., 2016).

Ook qua **grootte van het bedrijf** waren er duidelijke verschillen tussen de respondenten merkbaar. Meestal worden bedrijven ingedeeld in klein, medium en groot op basis van het aantal werknemers die ze tewerkstellen³. Omdat onze vragenlijst specifiek over de personeelsplanning gaat, werd gevraagd voor hoeveel werknemers de personeelsplanning opgesteld wordt. Aangezien de personeelsplanning meestal afzonderlijk gebeurt voor iedere vestiging van het bedrijf, is dit aantal meestal niet hetzelfde als het totaal aantal werknemers van het bedrijf. Daarom wordt in dit onderzoek volgende indeling gebruikt: klein bedrijf als het

¹Hiermee bedoelen we dat sommige bedrijven NACE-code 46 en/of 47 toegekend krijgen terwijl ze eigenlijk niet tot de retailsector behoren.

²Vragenlijsten die slechts gedeeltelijk ingevuld werden, werden niet gebruikt voor de analyse van de resultaten.

³Klein: aantal werknemers < 50, middelgroot: aantal werknemers < 250 en groot: aantal werknemers ≥ 250 (Vlaio, 2016).

aantal werknemers waarvoor de personeelsplanning moet opgesteld worden kleiner is dan 10, medium bedrijf als dit aantal tussen de 10 en 50 ligt (≥ 10 en < 50) en groot bedrijf als dit aantal groter is dan of gelijk is aan 50. Deze indeling werd gevalideerd door Karl Indigne en Geert Segers, experts in het vakgebied van de personeelsplanning. Op basis van deze indeling bestaat onze dataset uit **36 kleine bedrijven, 44 medium bedrijven en 27 grote bedrijven**. Deze indeling is zeer belangrijk voor het vervolg van dit onderzoek, want we zullen immers onderzoeken of er significante verschillen zijn tussen kleine, medium en grote bedrijven met betrekking tot de personeelsplanning. Aangezien het personeelsplanningsprobleem complexer wordt wanneer het aantal werknemers waarvoor de planning opgesteld moet worden, toeneemt, zou men verwachten dat grote bedrijven meer gebruik maken van gespecialiseerde softwareprogramma's. We zullen testen of dit inderdaad het geval is.

Bij het rapporteren van de resultaten (zie sectie 8.2) zullen we, onder andere⁴, de statistische significantie van de verschillen tussen kleine, medium en grote bedrijven testen op basis van de **Fisher Exact test**. De Fisher Exact test wordt gebruikt om de statistische significantie bij twee categorische variabelen te testen (Hill *et al.*, 2011). Normaal gezien wordt hiervoor de Chi-kwadraat test gebruikt. Wanneer de waargenomen frequenties echter laag zijn, wat hier het geval is aangezien de steekproef bestaat uit 107 respondenten, is het beter om de Fisher Exact test te gebruiken omdat deze dan accurater is. De Chi-kwadraat test veronderstelt immers dat elke cel een verwachte frequentie van vijf of meer heeft. Bij de Fisher Exact test is er geen dergelijke assumptie en deze test kan dus gebruikt worden bij lage verwachte frequenties. Om de Fisher Exact test te mogen uitvoeren moeten de observaties onafhankelijk zijn. Aangezien de vragenlijst telkens door een ander retailbedrijf ingevuld werd, is aan deze voorwaarde voldaan. Bij dit onderzoek werd hoofdzakelijk gewerkt met categorische variabelen. Daarom zal in sectie 8.2 telkens de Fisher Exact test gebruikt worden. Indien een andere test gebruikt wordt, zal dit expliciet vermeld worden.

Wanneer een bepaalde eigenschap van het retailbedrijf bevraagd wordt vb. “Gebeurt het opstellen van de personeelsplanning gecentraliseerd of gedecentraliseerd?”, zal de **one-sample Chi-kwadraat test** toegepast worden om te bepalen of de verdeling van de steekproef signi-

⁴We zullen ook de statistische significantie van de verschillen tussen pen & papier, Excel en andere softwareprogramma's testen. Hiervoor gebruiken we eveneens de Fisher Exact test.

ficant afwijkt van de verwachte verdeling. Om te kunnen bepalen of een bepaalde antwoordmogelijkheid meer aangeduid werd dan een andere, veronderstellen we telkens een gelijke verdeling. De verwachte verdeling bij 2 antwoordmogelijkheden is dus *fifty-fifty*. Voor ons voorbeeld wil dit zeggen dat er geen duidelijke trend merkbaar is in het gebruikte systeem, beiden worden (ongeveer) evenveel gebruikt. De verdeling in de steekproef is als volgt: 66% gecentraliseerd en 34% gedecentraliseerd. De one-sample Chi-kwadraat test zal bepalen of dit mogelijk is als de werkelijke verdeling *fifty-fifty* is. In dit geval rapporteert de one-sample Chi-kwadraat test een p-waarde van 0,001, aangezien dit kleiner is dan 0,05 (we werken in dit onderzoek met een significantieniveau van 5%) kunnen we besluiten dat retailbedrijven meer gebruik maken van een gecentraliseerd systeem dan van een gedecentraliseerd systeem. Telkens een dergelijke eigenschap van een retailbedrijf aan bod komt, zal de p-waarde van de one-sample Chi-kwadraat test tussen haakjes weergegeven worden.

8.2 Resultaten

In deze sectie zullen de belangrijkste resultaten van de bevraging besproken worden. De resultaten werden geanalyseerd met behulp van Excel en het statistische softwareprogramma SPSS. Er zal getracht worden om de resultaten zoveel mogelijk visueel voor te stellen aan de hand van grafieken en tabellen zodat deze éénvoudig te verstaan zijn voor de lezer. Ook zullen de **p-waardes** vermeld worden om de vaststellingen te ondersteunen. Hierbij werken we met een significantieniveau van 5%, wat wil zeggen dat de nulhypothese kan verworpen worden wanneer de p-waarde kleiner is dan 0,05. In sectie 8.2.1 zullen we de interpretatie van de p-waardes in detail bespreken, hierna worden enkel de p-waarde en de bijhorende conclusie vermeld. De lezer die niet vertrouwd is met het interpreteren van onderzoeksresultaten kan hiervoor het werk *Marktonderzoek: Methoden en toepassingen* (De Pelsmacker & Van Kenhove, 2014) raadplegen. Desalniettemin zullen we proberen om de resultaten zo duidelijk mogelijk te formuleren, zodat deze ook éénvoudig verstaanbaar zijn voor de lezer met beperkte statistische kennis.

Het is ook belangrijk om op te merken dat niet alle vragen door alle bedrijven werden beantwoord. Hierdoor zal de som van alle antwoorden niet altijd gelijk zijn aan 107. Tot slot werden percentages bij het rapporteren afgerond, waardoor het mogelijk is dat het totaal niet exact gelijk is aan 100%.

Deze sectie is verdeeld in verschillende subsecties waarin telkens één onderwerp besproken wordt (sectie 8.2.1 - sectie 8.2.13). Naast het behandelen van de algemene resultaten voor ieder onderwerp, zullen we ook de verschillen tussen kleine, medium en grote bedrijven bestuderen. Vanaf sectie 8.2.2 zullen we, indien relevant, bovendien de verschillen tussen pen & papier, Excel en andere softwareprogramma's bespreken. De onderwerpen zijn:

- Planning tools
- Benodigde tijd om de personeelsplanning op te stellen
- Centralisatie vs. decentralisatie
- 1 shift vs. meerdere shifts
- Vaste vs. flexibele shifts
- Cyclische vs. acyclische personeelsroosters
- Part-time werknemers
- Vaardigheden en opleiding
- Preferenties
- Overuren
- Investeringsgepland
- Belangrijkste problemen met betrekking tot de personeelsplanning
- Trends, ontwikkelingen & objectieven

8.2.1 Planning tools

Het hoofddoel van deze bevraging was om te onderzoeken hoe de personeelsplanning bij Belgische retailbedrijven gebeurt en of ze hierbij pen & papier, Excel of andere softwareprogramma's gebruiken. Andere softwareprogramma's worden beschouwd als de meest gesofisticeerde planning tool, gevolgd door Excel en pen & papier. Op basis van de bevraging kunnen we concluderen dat **Excel de meest populaire planning tool** is bij Belgische retailbedrijven (zie tabel 8.1, $p < 0,001$). 50% van de ondervraagde bedrijven gebruikt Excel als planning tool bij het opstellen van de personeelsplanning, 21% gebruikt pen & papier en 29% gebruikt andere softwareprogramma's.

	Pen & papier	Excel	Andere softwareprogramma's
Alle bedrijven	21%	50%	29%
Kleine bedrijven	42%	44%	14%
Medium bedrijven	16%	55%	30%
Grote bedrijven	0%	52%	48%

Tabel 8.1: Planning tools

Wanneer een Fisher Exact test uitgevoerd wordt om het verschil in gebruik van planning tools tussen kleine, medium en grote bedrijven te testen, bekomen we een p-waarde $< 0,001$ (107 valide observaties). Aangezien deze p-waarde kleiner is dan 0,05 (het significantieniveau) kan de nulhypothese (er zijn geen verschillen met betrekking tot de gebruikte planning tools tussen kleine, medium en grote bedrijven) verworpen worden. Dit wil zeggen dat de **verschillen tussen kleine, medium en grote bedrijven significant** zijn. Om te weten waar de verschillen juist liggen, moeten nog extra Fisher Exact tests uitgevoerd worden, waarbij kleine, medium en grote bedrijven telkens paarsgewijs⁵ vergeleken worden (cfr. infra).

Het feit dat pen & papier nog steeds zeer frequent gebruikt wordt om een personeelsplanning op te stellen is, in deze tijden van automatisatie en razendsnelle technologische ontwikkeling, op zijn minst verrassend te noemen. We zien wel dat dit vooral bij kleine bedrijven en in mindere mate bij medium bedrijven gebeurt. Bij de grote bedrijven is er geen enkele van de

⁵Kleine bedrijven-medium bedrijven, medium bedrijven-grote bedrijven en kleine bedrijven-grote bedrijven.

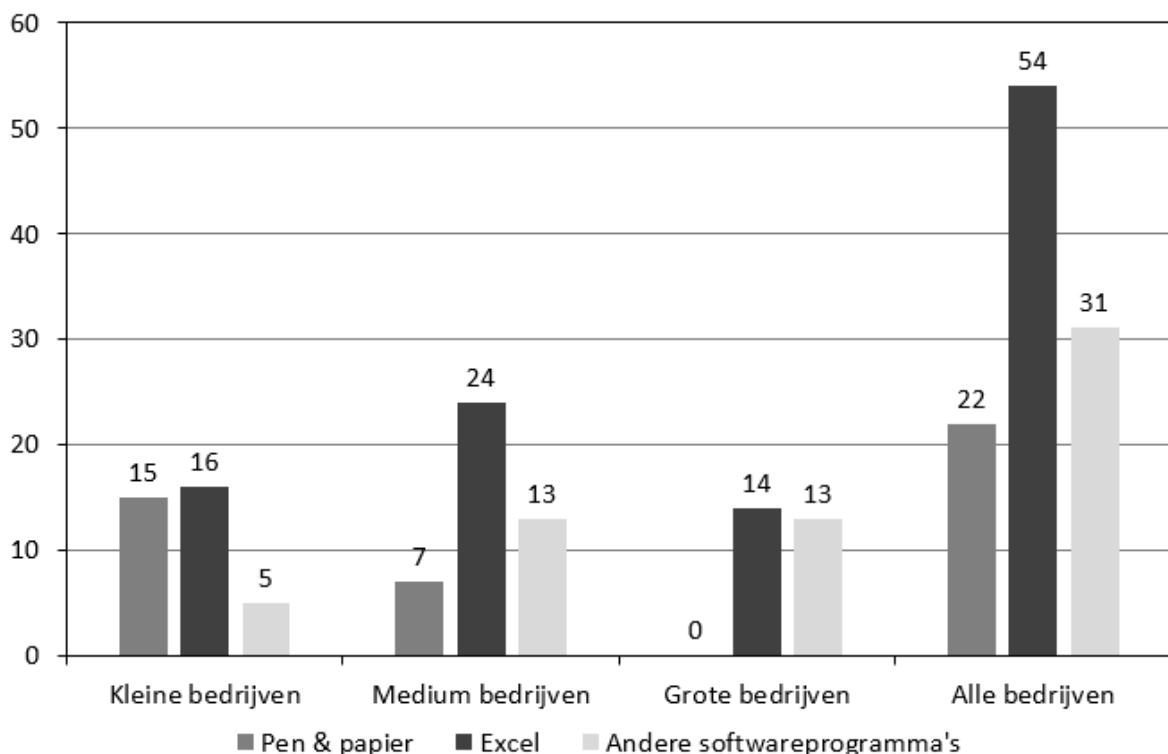
bevraagde bedrijven die nog pen & papier gebruikt. Het gemiddeld aantal werknemers dat gepland wordt met behulp van pen & papier is 10, bij Excel is dit 52 en bij andere softwareprogramma's is dit 220. Dit wijst erop dat **pen & papier het vaakst gebruikt wordt voor kleinere planningsproblemen, Excel voor middelgrote planningsproblemen en andere softwareprogramma's voor grote planningsproblemen.**

Kleine en medium bedrijven verschillen significant van elkaar ($p = 0,030$). Bij medium bedrijven daalt het gebruik van pen & papier duidelijk en stijgt het gebruik van Excel en andere softwareprogramma's. Ook medium en grote bedrijven verschillen significant van elkaar ($p = 0,048$). Grote bedrijven maken geen gebruik van pen & papier en maken meer gebruik van andere softwareprogramma's, maar ook voor grote bedrijven is Excel de meest populaire planning tool. De vaststelling dat kleine en medium bedrijven onderling en medium en grote bedrijven onderling significant van elkaar verschillen impliceert, voor deze data, dat ook kleine en grote ondernemingen significant van elkaar verschillen ($p < 0,001$). Op basis van deze cijfers kunnen we besluiten dat **pen & papier meer gebruikt wordt in kleine bedrijven dan in medium en grote bedrijven** en dat **andere softwareprogramma's meer gebruikt worden in grote bedrijven dan in kleine en medium bedrijven.**

Het feit dat **Excel bij alle type bedrijven het best scoort** (zie tabel 8.1) is een opvallende vaststelling. Dit wijst erop dat de meeste bedrijven nog niet overtuigd zijn van de voordelen die gespecialiseerde softwareprogramma's kunnen bieden ten opzichte van pen & papier en Excel. Tijdens de bevraging werd ook gevraagd **waarom men gebruik maakte van een bepaalde planning tool**. Deze vraag werd door 89 bedrijven beantwoord. Bij Excel-gebruikers kwamen de begrippen éénvoudig, gebruiksvriendelijk, goedkoop, overzichtelijk en flexibel vaak naar voor. Pen & papier gebruikers stellen dat het gebruik van pen & papier de éénvoudigste en goedkoopste manier is om een beperkt aantal werknemers in te plannen. Er werd ook vaak gezegd dat men pen & papier gebruikt uit gewoonte. De gebruikers van andere, specifieke softwareprogramma's doen dit onder andere omwille van volgende redenen: verhoogde efficiëntie, kostenbesparing, transparantie, consulteerbaar voor iedere werknemer, gemakkelijker om te controleren & rapporteren en compatibiliteit met andere softwareprogramma's die gebruikt worden binnen het bedrijf. Wanneer we de belangrijkste redenen voor de keuze van een bepaalde planning tool aggregeren, zijn er drie redenen die

duidelijk het meest genoemd worden: **het financiële aspect, de gebruiksvriendelijkheid en de compatibiliteit met andere systemen**. Bedrijven die personeelsplanningssoftware aanbieden, houden hier best rekening mee bij de ontwikkeling en verkoop van hun product.

Figuur 8.1 toont nog eens het gebruik van de verschillende planning tools, maar nu uitgedrukt in absolute waarden. Op de grafiek is de **research-application gap visueel zeer duidelijk zichtbaar**. De gespecialiseerde softwareprogramma's, die gebaseerd zijn op de modellen en algoritmes uit de literatuur, worden slechts in beperkte mate toegepast. Bovendien is de **gap nog groter dan zichtbaar is op de figuur**. Aan de bedrijven die "Andere softwareprogramma's" aangeduid hadden bij de vraag "Welke planning tools gebruikt uw bedrijf bij het opstellen van de personeelsplanning?" werd immers gevraagd welk(e) softwareprogramma('s) ze gebruikten. Wanneer we de antwoorden analyseren, zien we dat **een deel van deze bedrijven softwareprogramma's gebruiken die helemaal niet speciaal ontworpen zijn om een zo efficiënt mogelijke personeelsplanning op te stellen op basis van een bepaald algoritme**.



Figuur 8.1: Absolute waarden voor gebruikte planning tools bij verschillende bedrijfsgroottes

Zo geven 5 bedrijven aan **Hotmail agenda, Google agenda of Outlook agenda** te gebruiken voor het opstellen van hun personeelsplanning. Ook zijn er bedrijven die gebruik maken van software tools die eigenlijk hoofdzakelijk bedoeld zijn voor **tijdsregistratie** en minder voor het effectief opstellen van een personeelsplanning. Dergelijke tools houden bijvoorbeeld het aantal gewerkte uren van iedere werknemer bij en berekenen dan automatisch het loon van deze werknemers. **ERP-software** zoals SAP bezit meestal ook een tool die gebruikt kan worden voor het opstellen van een personeelsplanning. Enkele van de ondergevraagde bedrijven geven aan dergelijke tools te gebruiken. Onderzoek van Chang *et al.* (2008) toonde echter aan dat de Human Resources module de minst-gebruikte module van het ERP systeem is. Dit wijst erop dat het gebruik van dergelijke tools nog niet ingeburgerd is bij de meeste bedrijven.

Bij de bevroegde bedrijven zijn er echter ook bedrijven die wel gebruik maken van **gespecialiseerde softwareprogramma's** die speciaal op de markt gebracht werden om het personeelsplanningsproces vlotter te laten verlopen. Protime, SP Expert, timesquare, ... zijn enkele voorbeelden. Er zijn zelfs **bedrijven die hun eigen planningssoftware lieten ontwikkelen**. Hier kunnen experts/onderzoekers algoritmes ontwikkelen die het personeelsplanningsprobleem van het specifieke bedrijf zo goed mogelijk oplossen. Bij dergelijke werkwijze wordt in ruime mate gebruik gemaakt van de wetenschappelijke kennis rond personeelsplanningsproblemen en is de gap tussen research en praktijk verkleind. Het aantal bedrijven die hiervan gebruik maakt is echter beperkt (voornamelijk door de hoge kostprijs).

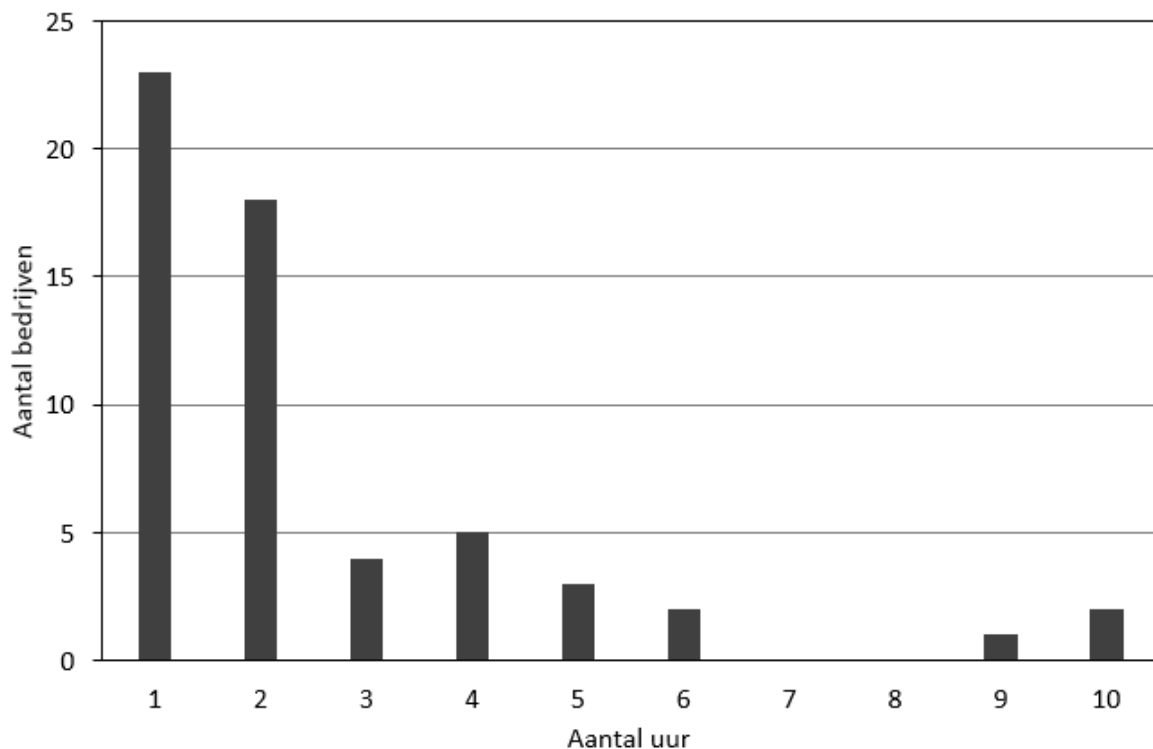
Ondanks het feit dat de gerapporteerde softwareprogramma's niet altijd specifiek ontworpen werden voor het opstellen van een personeelsplanning, zijn ze meestal wel gesofisticeerder dan pen & papier en Excel. Vandaar dat we er bij de verdere analyse van de resultaten nog steeds van uit kunnen gaan dat de categorie "Andere softwareprogramma's" de meest gesofisticeerde planning tool is.

8.2.2 Benodigde tijd om de personeelsplanning op te stellen

Het opstellen van een personeelsplanning is voor de meeste bedrijven een tijdrovende opdracht. Daarom werd aan de retailbedrijven gevraagd hoeveel uur er besteed wordt aan het opstellen van de personeelsplanning. 61 bedrijven hebben deze vraag beantwoord. **Gemid-**

deld spenderen de bevroagde retailbedrijven **3,47 uur per week aan het opstellen van de personeelsplanning (standaardafwijking: 4,71 uur)**. De minimale tijd die gerapporteerd werd, is 1 uur. De maximale tijd die gerapporteerd werd, is 25 uur.

Wanneer we kijken naar de verdeling⁶ (zie figuur 8.2) zien we dat **67% van de bedrijven 1 of 2 uur besteedt aan het opstellen van de personeelsplanning**. Deze cijfers tonen aan dat de tijd die men besteedt aan het opstellen van de personeelsplanning best nog lijkt mee te vallen. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat bedrijven de tijd die ze besteden aan het opstellen van de personeelsplanning vaak onderschatten (Segers, G., 2016). De tijd die men rapporteerde in de vragenlijst is meestal de tijd die nodig is als alles vlot verloopt. Nochtans kunnen er tijdens het opstellen van een personeelsplanning heel wat (onverwachte) problemen optreden, waardoor het opstellen van de personeelsplanning langer duurt dan verwacht. De werkelijk bestede tijd ligt dus waarschijnlijk hoger dan de gerapporteerde waarden.



Figuur 8.2: Aantal uur dat per week besteed wordt aan het opstellen van de personeelsplanning

⁶Enkel de bedrijven die tussen de 1 en 10 uur aan de personeelsplanning besteden, werden in deze figuur opgenomen. Verder zijn er nog twee bedrijven die aangeven dat ze 20 uur per week bezig zijn met het opstellen van de personeelsplanning en één bedrijf gaf aan 25 uur aan het personeelsplanningsproces te besteden.

Er werd ook getest of de bedrijfsgrootte en/of de gebruikte planning tool een invloed hebben op het aantal uur dat aan de personeelsplanning besteed wordt. Aangezien de afhankelijke variabele “Aantal uur” op interval/ratio meetniveau gemeten wordt en de onafhankelijke variabele (bedrijfsgrootte of planning tool) een categorische variabele is, wordt hiervoor de **one-way ANOVA test** toegepast (De Pelsmacker & Van Kenhove, 2014). Wanneer we de relatie tussen de bedrijfsgrootte en het aantal benodigde planningsuren per week bestuderen (zie deel A van tabel 8.2), zien we dat het **gemiddeld aantal benodigde planningsuren toeneemt met de bedrijfsgrootte** (kleine bedrijven: 1,31 uur, medium bedrijven: 2,44 uur en grote bedrijven: 7,06 uur). De one-way ANOVA test toonde aan dat deze verschillen significant zijn ($p < 0,001$). Om de verschillende groepen (kleine, medium en grote bedrijven) paarsgewijs te kunnen vergelijken, werd de **Tamhane’s T2 post hoc test** uitgevoerd. Deze post hoc test werd geprefereerd boven de Bonferonni post hoc test omdat de voorwaarde van gelijke varianties hier niet voldaan is. Voor meer uitleg in verband met post hoc testen voor de one-way ANOVA test verwijzen we u door naar het boek *Marktonderzoek: Methoden en toepassingen* (De Pelsmacker & Van Kenhove, 2014, Hoofdstuk 12). De Tamhane’s T2 post hoc test toont aan dat er een significant verschil is tussen kleine en grote bedrijven. **Bij grote bedrijven wordt er dus meer tijd besteed aan het opstellen van de personeelsplanning dan bij kleine bedrijven.** Deze vaststelling is logisch aangezien het aantal werknemers dat ingepland moet worden duidelijk groter is. De andere verschillen zijn niet significant.

	Aantal bedrijven	Aantal planningsuren	
		Gemiddelde	Stdafw.
A. Bedrijfsgrootte			
Alle bedrijven	61	3,47	4,71
Kleine bedrijven	18	1,31	0,46
Medium bedrijven	25	2,44	1,90
Grote bedrijven	18	7,06	7,26
B. Gebruikte planning tools			
Alle planning tools	61	3,47	4,71
Pen & papier	12	1,46	0,66
Excel	34	3,85	5,25
Andere softwareprogramma's	15	4,20	5,03

Tabel 8.2: Aantal benodigde planningsuren

Wanneer we de relatie tussen de gebruikte planning tool en het aantal benodigde planningsuren per week bestuderen (zie deel B van tabel 8.2), zien we dat het gemiddeld aantal benodigde planningsuren verschilt tussen de verschillende planning tools (pen & papier: 1,46 uur, Excel: 3,85 uur en andere softwareprogramma's: 4,20 uur). De one-way ANOVA test toonde echter aan dat deze verschillen niet significant zijn ($p = 0,253$). **Er is dus geen éénduidig verband tussen de gebruikte planning tool en het aantal uren dat aan het opstellen van de personeelsplanning besteed wordt.** De verschillen tussen de planning tools worden hoofdzakelijk veroorzaakt doordat er een duidelijk verband is tussen de gebruikte planning tool en de bedrijfsgrootte (zie sectie 8.2.1). Pen & papier wordt bijvoorbeeld hoofdzakelijk in kleine en minder in grote bedrijven gebruikt. Pen & papier wordt dus voor minder complexe planningsproblemen gebruikt (aangezien de complexiteit van het personeelsplanningsprobleem stijgt met het aantal werknemers). Hierdoor is het benodigde aantal uren laag (gemiddelde = 1,46 uur). Wanneer de verschillende planning tools voor eenzelfde personeelsplanningsprobleem gebruikt zouden worden, zouden er waarschijnlijk wel significante verschillen zijn tussen de planning tools met betrekking tot het aantal benodigde planningsuren.

8.2.3 Centralisatie vs. decentralisatie

In deze sectie zullen we onderzoeken of de personeelsplanning bij retailbedrijven meestal gecentraliseerd of gedecentraliseerd opgesteld wordt en of er een relatie is met de bedrijfsgrootte en/of de gebruikte planning tool. Wanneer de personeelsplanning voor alle werknemers tegelijk wordt opgesteld, spreekt men van een gecentraliseerd systeem (Beliën *et al.*, 2013). Wanneer de personeelsplanning apart per afdeling wordt opgesteld, spreekt men van een gedecentraliseerd systeem (Beliën *et al.*, 2013).

In tabel 8.3 is duidelijk te zien dat het **merendeel van de retailbedrijven hun personeelsplanning gecentraliseerd opstelt** (106 antwoorden, $p = 0,001$). Wanneer we de cijfers nauwgezet bestuderen, zien we dat de bedrijfsgrootte een grote impact heeft op deze keuze ($p < 0,001$, zie deel A van tabel 8.3). Tussen kleine en medium bedrijven zien we al een stijging van het procentueel aantal bedrijven dat decentralisatie toepast. Dit verschil is echter niet significant ($p = 0,063$). De stijging tussen kleine en grote bedrijven en medium en grote bedrijven is wel significant (telkens $p < 0,001$). Op basis van deze cijfers kunnen we besluiten dat **grote bedrijven hun personeelsplanning vaker op een gedecentraliseerde manier opstellen dan kleine en medium bedrijven**. Dit is een logische vaststelling. Bij kleine en medium bedrijven is het aantal werknemers dat ingepland moet worden beperkt. De complexiteit van het planningsprobleem is dan ook nog beheersbaar om op een gecentraliseerde manier opgelost te worden. Veel kleine bedrijven (minder dan 10 werknemers) maken zelfs geen gebruik van verschillende afdelingen. Voor grote bedrijven waar veel werknemers moeten ingepland worden, zorgt een gecentraliseerde toewijzing voor een zeer complex planningsprobleem. Deze complexiteit kan gereduceerd worden door de planning op afdelingsniveau op te stellen. De cijfers van ons onderzoek tonen aan dat dit in de praktijk vaak gebeurt.

	Gecentraliseerd		Gedecentraliseerd	
A. Bedrijfs grootte				
Alle bedrijven	70	66%	36	34%
Kleine bedrijven	32	89%	4	11%
Medium bedrijven	32	73%	12	27%
Grote bedrijven	6	23%	20	77%
B. Gebruikte planning tools				
Alle planning tools	70	66%	36	34%
Pen & papier	20	91%	2	9%
Excel	36	67%	18	33%
Andere softwareprogramma's	14	47%	16	53%

Tabel 8.3: Centralisatie vs. decentralisatie

Er is ook een duidelijke relatie tussen de keuze om de personeelsplanning gecentraliseerd of gedecentraliseerd op te stellen en de gebruikte planning tool ($p = 0,003$, zie deel B van tabel 8.3). **Excel en andere softwareprogramma's worden vaker gebruikt voor een gedecentraliseerd systeem dan pen & papier** (pen & papier-Excel: $p = 0,025$; pen & papier-andere softwareprogramma's: $p = 0,001$). Tussen Excel en andere softwareprogramma's is de stijging niet significant ($p = 0,060$). Deze cijfers wijzen erop dat er **bij een gedecentraliseerd systeem meer gesofisticeerde planning tools gebruikt worden dan bij een gecentraliseerd systeem**. Deze vaststelling wordt voornamelijk verklaard door het feit dat het vooral grote bedrijven zijn die een gedecentraliseerd systeem gebruiken en het ook vooral grote bedrijven zijn die meer gesofisticeerde planning tools gebruiken (zie sectie 8.2.1). Aangezien het aantal werknemers dat ingepland moet worden groot is, zijn de meer gesofisticeerde planning tools dus het best geschikt.

8.2.4 1 shift vs. meerdere shifts

Tijdens de bevraging werd gepolst naar het aantal shifts dat men gebruikte. Deze vraag werd gesteld omdat het interessant is om te onderzoeken of bedrijven die een shiftstelsel met meerdere shifts toepassen andere, meer gesofisticeerde planning tools gebruiken dan bedrijven die slechts één shift gebruiken. **Meerdere shifts verhogen immers de complexiteit van**

het planningsprobleem. De complexiteit wordt onder andere verhoogd door de introductie van extra restricties zoals opvolgingsrestricties (succession constraints) (Beliën *et al.*, 2013). Opvolgingsrestricties zorgen ervoor dat een bepaald type shift vb. een nachtshift niet gevolgd mag worden door een ochtendshift de volgende dag. Dit type restrictie is overbodig wanneer men met één shift werkt. Het grote voordeel van het werken met meerdere shifts is dat er dagelijks gedurende een langere tijdsperiode gewerkt kan worden (De Brouwer, B., 2015). Retailbedrijven die langer dan 8-9 uur (de maximale lengte van een shift) open zijn per dag, maken daarom gebruik van meerdere shifts. Zo ook Delhaize Watersportbaan, die dagelijks open is van 8u tot 20u. Bij retailbedrijven wordt bovendien vaak met overlappende shifts gewerkt om pieken in de vraag (het aantal klanten) op te vangen (De Brouwer, B., 2015). De voordelen van een shiftstelsel met één shift zijn natuurlijk de eenvoud en stabiliteit (Beliën *et al.*, 2013).

Ongeveer 63% van de bevroegde retailbedrijven gebruikt één shift, 37% van de bedrijven maakt gebruik van meerdere shifts (105 antwoorden, $p = 0,008$). Wanneer we kijken naar de relatie tussen de bedrijfsgrootte en het aantal gebruikte shifts (zie deel A van tabel 8.4), zien we dat **het gebruik van meerdere shifts toeneemt met de bedrijfsgrootte** (29% bij kleine bedrijven, 34% bij medium bedrijven en 54% bij grote bedrijven). De verschillen zijn echter **niet significant** ($p = 0,120$). Deze vaststelling moet dan ook gezien worden als een mogelijke trend, die bevestigd dient te worden in verder onderzoek. Wanneer we de **relatie tussen de gebruikte planning tool en het aantal gebruikte shifts** bestuderen, zien we dat de **verschillen beperkt** zijn (zie deel B van tabel 8.4). Hoewel Excel en andere softwareprogramma's vaker toegepast worden voor meerdere shifts dan pen & papier, wordt de hypothese dat het gebruik van meerdere shifts zal lijden tot het gebruik van meer gesofisticeerde softwareprogramma's onvoldoende ondersteund door de resultaten van de vragenlijst ($p = 0,295$). De verschillen tussen 1 shift en meerdere shifts zijn dus onvoldoende groot om van een bepaalde trend te kunnen spreken.

	1 shift		Meerdere shifts	
A. Bedrijfs grootte				
Alle bedrijven	66	63%	39	37%
Kleine bedrijven	25	71%	10	29%
Medium bedrijven	29	66%	15	34%
Grote bedrijven	12	46%	14	54%
B. Gebruikte planning tools				
Alle planning tools	66	63%	39	37%
Pen & papier	16	73%	6	27%
Excel	30	56%	24	44%
Andere softwareprogramma's	20	69%	9	31%

Tabel 8.4: 1 shift vs. meerdere shifts

8.2.5 Vaste vs. flexibele shifts

Een andere shifteigenschap die werd bevraagd, is de flexibiliteit van de shifts. Hierbij werd er een onderscheid gemaakt tussen vaste shifts i.e. werknemers werken iedere dag gedurende dezelfde uren en flexibele shifts i.e. de werkuren van de werknemers verschillen van dag tot dag. Deze eigenschap heeft een grote invloed op het planningsprobleem, aangezien **het gebruik van flexibele shifts ervoor zorgt dat er veel meer mogelijkheden zijn om de werknemers in te plannen**. Eén van de voordelen van flexibele shifts is dat, wanneer het bedrijf met meerdere shifts werkt, het de mogelijkheid biedt om een faire werkplanning op te stellen. Nacht- en/of vroege shifts moeten dan niet telkens door dezelfde persoon uitgevoerd worden, maar kunnen eerlijk verdeeld worden (Beliën *et al.*, 2013). Vaste shifts hebben als voordeel dat de werknemer stabiele werkuren heeft, waardoor hij zijn (andere) activiteiten gemakkelijker kan plannen (Beliën *et al.*, 2013).

Van de bevraagde retailbedrijven werkt 62% met vaste shifts en 38% met flexibele shifts (106 antwoorden, $p = 0,012$). Opvallend is dat deze verdeling nagenoeg overeenkomt met de verdeling die we zagen tussen 1 shift en meerdere shifts (zie sectie 8.2.4). Dit zou erop kunnen wijzen dat bedrijven die met één shift werken, meestal vaste shifts gebruiken en dat bedrijven die met meerdere shifts werken vaker flexibele shifts gebruiken. Tabel 8.5 toont de cijfers.

Van de bedrijven met één shift gebruikt 76% vaste shifts, bij bedrijven met meerdere shifts is dit slechts 38%. Statistisch onderzoek toonde aan dat deze verschillen significant zijn ($p < 0,001$). De veronderstelling dat **bedrijven met 1 shift vaker vaste shifts en bedrijven met meerdere shifts vaker flexibele shifts gebruiken**, blijkt dus te kloppen.

	Vaste shifts		Flexibele shifts	
1 shift	50	76%	16	24%
Meerdere shifts	15	38%	24	62%

Tabel 8.5: Aantal shifts vs. flexibiliteit shifts

Wanneer we kijken naar de relatie tussen de bedrijfsgrootte en de flexibiliteit van de shifts (zie deel A van tabel 8.6), zien we dat **het gebruik van flexibele shifts toeneemt met de bedrijfsgrootte** (28% bij kleine bedrijven, 36% bij medium bedrijven en 54% bij grote bedrijven). De verschillen zijn echter **niet significant** ($p = 0,116$). Deze trend wordt dus niet statistisch ondersteund. Wanneer we de relatie tussen de gebruikte planning tool en de flexibiliteit van de shifts bestuderen (zie deel B van tabel 8.6), zien we dat de er nauwelijks verschillen zijn. Dit stemt overeen met een hoge p-waarde ($p = 0,836$). We kunnen dan ook concluderen dat er **geen verband is tussen de flexibiliteit van de shifts en de gebruikte planning tool**.

	Vaste shifts		Flexibele shifts	
A. Bedrijfs grootte				
Alle bedrijven	66	62%	40	38%
Kleine bedrijven	26	72%	10	28%
Medium bedrijven	28	64%	16	36%
Grote bedrijven	12	46%	14	54%
B. Gebruikte planning tools				
Alle planning tools	66	62%	40	38%
Pen & papier	15	68%	7	32%
Excel	33	61%	21	39%
Andere softwareprogramma's	18	60%	12	40%

Tabel 8.6: Vaste shifts vs. flexibele shifts

8.2.6 Cyclische vs. acyclische personeelsroosters

Een eigenschap van de personeelsplanning die nauw gerelateerd is aan het gebruikte shiftsysteem is de cycliciteit van de personeelsroosters. Hierbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen **cyclische personeelsroosters** i.e. er zit een bepaald patroon in de roosters dat telkens terug komt vb. 4 mogelijke weekroosters A, B, C, D die voor iedere werknemer in een bepaalde volgorde herhaald worden en **acyclische personeelsroosters** i.e. geen duidelijk patroon in de roosters.

74% van de bevroagde retailbedrijven gebruikt cyclische personeelsroosters. Hieruit volgt dat slechts 26% acyclische personeelsroosters gebruikt (101 antwoorden). **Cyclische personeelsroosters zijn dus duidelijk populairder bij retailbedrijven** ($p < 0,001$). Dit wijst erop dat men het belangrijk vindt om een bepaalde continuïteit in de personeelsroosters te steken. Wanneer we kijken naar de relatie tussen de bedrijfsgrootte en de cycliciteit van de personeelsroosters (zie deel A van tabel 8.7), zien we dat **het gebruik van acyclische personeelsroosters toeneemt met de bedrijfsgrootte** (19% bij kleine bedrijven, 23% bij medium bedrijven en 39% bij grote bedrijven). De verschillen zijn echter **niet significant** ($p = 0,215$). Deze trend wordt dus niet statistisch ondersteund. Wanneer we de relatie tussen de gebruikte planning tool en de cycliciteit van de personeelsroosters bestuderen (zie deel B van

tabel 8.7), zien we dat de verschillen beperkt zijn. Pen & papier wordt minder gebruikt bij acyclische personeelroosters dan Excel en andere softwareprogramma's. Dit verschil is echter **niet significant** ($p = 0,590$). We kunnen dan ook concluderen dat er **geen verband is tussen de cycliciteit van de personeelsroosters en de gebruikte planning tool**.

	Cyclisch		Acyclisch	
A. Bedrijfs grootte				
Alle bedrijven	75	74%	26	26%
Kleine bedrijven	25	81%	6	19%
Medium bedrijven	34	77%	10	23%
Grote bedrijven	16	62%	10	39%
B. Gebruikte planning tools				
Alle planning tools	75	74%	26	26%
Pen & papier	16	84%	3	16%
Excel	38	72%	15	28%
Andere softwareprogramma's	21	72%	8	28%

Tabel 8.7: Cyclische vs. acyclische personeelsroosters

8.2.7 Part-time werknemers

In deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 3 werd vermeld dat er in de retailsector vaak beroep gedaan wordt op part-time werknemers. Deze stelling wordt bevestigd door de resultaten van dit onderzoek. 89% van de ondervraagde bedrijven geeft aan gebruik te maken van part-time personeel (106 antwoorden, $p < 0,001$). Part-time werknemers zorgen voor een verhoogde flexibiliteit om bepaalde “gaten” in de personeelsplanning op te vullen (Van Ostaeyen, P., 2016). De verhoogde flexibiliteit die part-time werknemers met zich meebrengen, is zeer nuttig binnen de retailsector aangezien de omstandigheden zeer snel kunnen wijzigen. Met part-time werknemers kan er beter ingespeeld worden op deze omstandigheden dan met full-time werknemers (Segers, G., 2016).

Wanneer we kijken naar de relatie tussen de bedrijfs grootte en het gebruik van part-time werknemers (zie deel A van tabel 8.8), zien we dat **het gebruik van part-time werk-**

nemers toeneemt met de bedrijfsgrootte (81% bij kleine bedrijven, 89% bij medium bedrijven en 100% bij grote bedrijven). Deze verschillen zijn significant ($p = 0,043$). De stijging tussen kleine en medium bedrijven & tussen medium en grote bedrijven, is niet significant (klein-medium: $p = 0,244$; medium-groot: $p = 0,090$). De stijging tussen kleine en grote bedrijven is wel significant ($p = 0,017$). Op basis van deze cijfers kunnen we besluiten dat **grote bedrijven vaker beroep doen op part-time werknemers dan kleine bedrijven**. Wanneer we de relatie tussen de gebruikte planning tool en het gebruik van part-time werknemers bestuderen (zie deel B van tabel 8.8), is er enkel een significante stijging tussen pen & papier en andere softwareprogramma's merkbaar ($p = 0,018$). **Andere softwareprogramma's worden vaker gebruikt, wanneer er beroep gedaan wordt op part-time werknemers dan pen & papier.**

	Part-time: Ja		Part-time: Nee	
A. Bedrijfsgrootte				
Alle bedrijven	94	89%	12	11%
Kleine bedrijven	29	81%	7	19%
Medium bedrijven	39	89%	5	11%
Grote bedrijven	26	100%	0	0%
B. Gebruikte planning tools				
Alle planning tools	94	89%	12	11%
Pen & papier	16	73%	6	27%
Excel	49	91%	5	9%
Andere softwareprogramma's	29	97%	1	3%

Tabel 8.8: Gebruik part-time werknemers

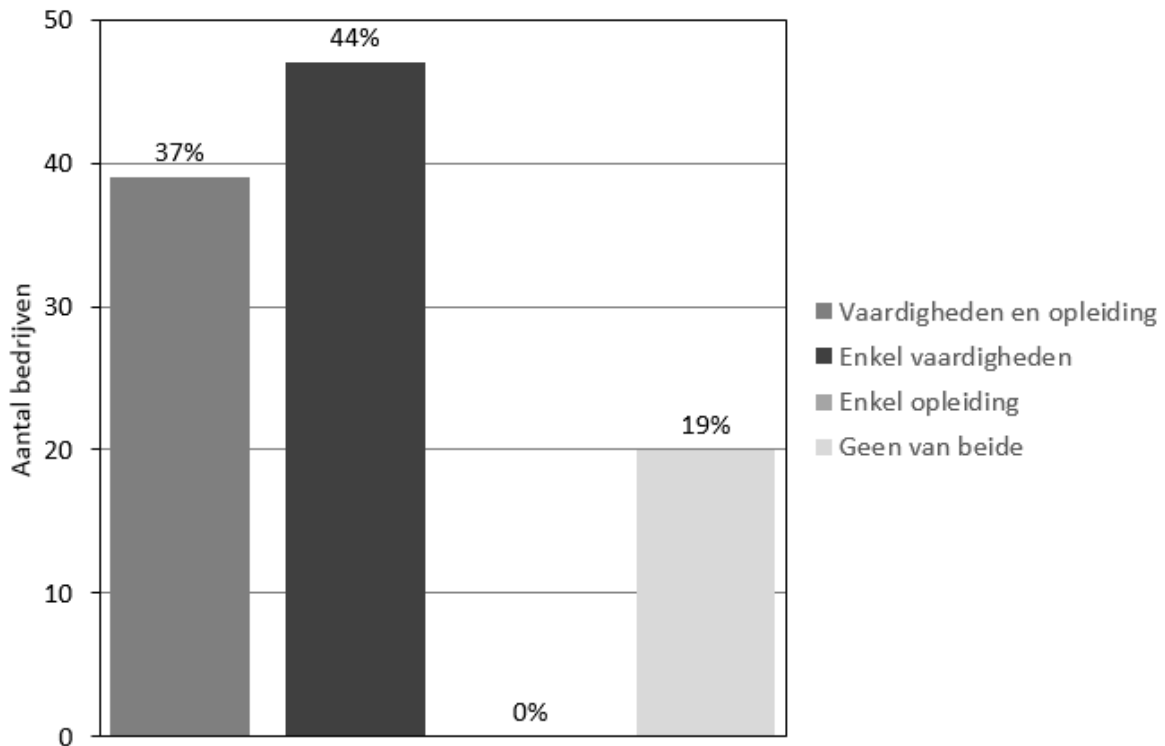
Aan de bedrijven die gebruik maken van part-time personeel werd ook gevraagd of men **vaste of variabele werkroosters** gebruikt voor de part-time werknemers. Bij vaste werkroosters krijgt de part-time werknemer iedere week ongeveer hetzelfde werkrooster, bij variabele werkroosters kan het werkrooster van de part-time werknemer zeer sterk variëren. Variabele werkroosters verhogen de complexiteit van het planningsprobleem, maar zorgen voor een grotere flexibiliteit om afwezigheden van andere werknemers en dergelijke op te vangen.

61% van de bevroagde ondernemingen gaf aan vaste werkroosters te gebruiken, 39% gebruikt variabele werkroosters (94 antwoorden, $p = 0,039$). De bedrijfsgrootte en de gebruikte planning tool blijken geen significante invloed te hebben op het type werkrooster dat gebruikt wordt.

Tot slot werd er gevraagd of het part-time personeel vast in dienst is of op interimbasis werkt (of beide i.e. een deel van het part-time personeel is vast in dienst en een deel werkt op interimbasis). **Bij 82% van de bedrijven die part-time werknemers gebruiken, zijn deze vast in dienst, bij 3% werken deze op interimbasis en bij 15% is een deel vast in dienst en werkt een deel op interimbasis** (71 antwoorden, $p < 0,001$). Deze cijfers wijzen erop dat de meeste retailbedrijven continu gebruik maken van part-time personeel. Het aantal retailbedrijven dat part-time werknemers enkel op interimbasis inschakelt, bv. om een langdurig afwezige werknemer te vervangen, is beperkt. De bedrijfsgrootte en de gebruikte planning tool blijken geen significante invloed te hebben op manier waarop het part-time personeel tewerkgesteld wordt (vast vs. interim).

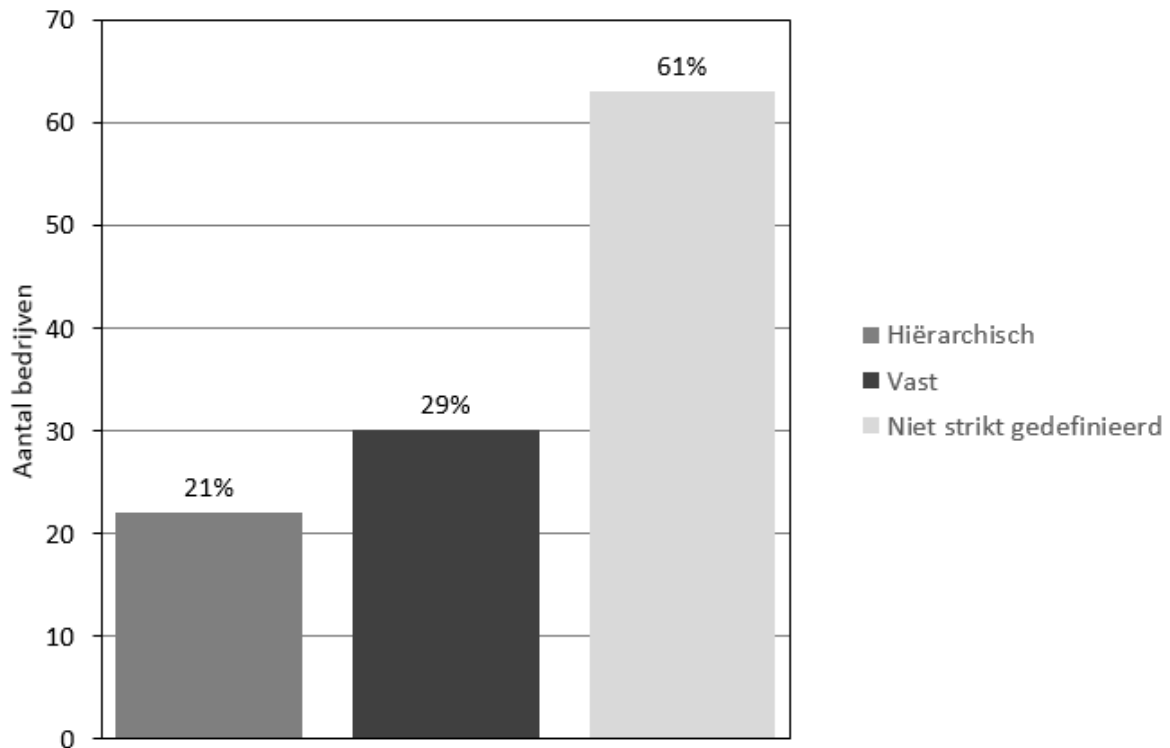
8.2.8 Vaardigheden en opleiding

De vaardigheden en opleiding van een werknemer kunnen een belangrijke rol spelen bij het toewijzen van taken aan werknemers. Bedrijven die hier rekening mee houden, kunnen immers een **betere fit realiseren tussen werknemer en taak**. Het opnemen van variabelen met betrekking tot de vaardigheden en opleiding van de werknemers verhoogt wel de complexiteit van het planningsprobleem (Beliën *et al.*, 2013). Figuur 8.3 toont dat 37% van de bevroagde ondernemingen zowel rekening houdt met vaardigheden als opleiding, 44% houdt enkel rekening met vaardigheden en 19% houdt met geen van beide rekening (106 antwoorden). Deze cijfers tonen aan dat **retailbedrijven vooral rekening houden met de vaardigheden van de werknemer bij de toewijzing aan taken**. De opleiding van de werknemer is minder van belang. De bedrijfsgrootte en de gebruikte planning tool blijken geen significante invloed te hebben op de incorporatie van vaardigheden en opleiding in het personeelsplanningsprobleem.



Figuur 8.3: Houdt men rekening met vaardigheden en opleiding?

Vaardigheden kunnen **hiërarchisch** gedefinieerd worden. Dit betekent dat hoger gerangschikte werknemers alle taken van lager gerangschikte werknemers kunnen uitvoeren. Vaardigheden kunnen ook **vast** gedefinieerd worden. Dit betekent dat wanneer taak X vaardigheid Y vereist, enkel werknemers met vaardigheid Y taak X kunnen uitvoeren. Figuur 8.4 toont de resultaten van de bevraging. 103 bedrijven beantwoordden deze vraag. Belangrijk is om op te merken dat bedrijven meerdere antwoorden konden aankruisen (bijvoorbeeld wanneer men een combinatie van hiërarchisch en vast gebruikt). 22 van de bevroegde bedrijven gebruiken hiërarchische vaardigheden, 30 bedrijven gebruiken vaste vaardigheden en bij 63 bedrijven zijn de vaardigheden niet strikt gedefinieerd. De bedrijfsgrootte en de gebruikte planning tool blijken geen significante invloed te hebben op de manier waarop men vaardigheden definieert.



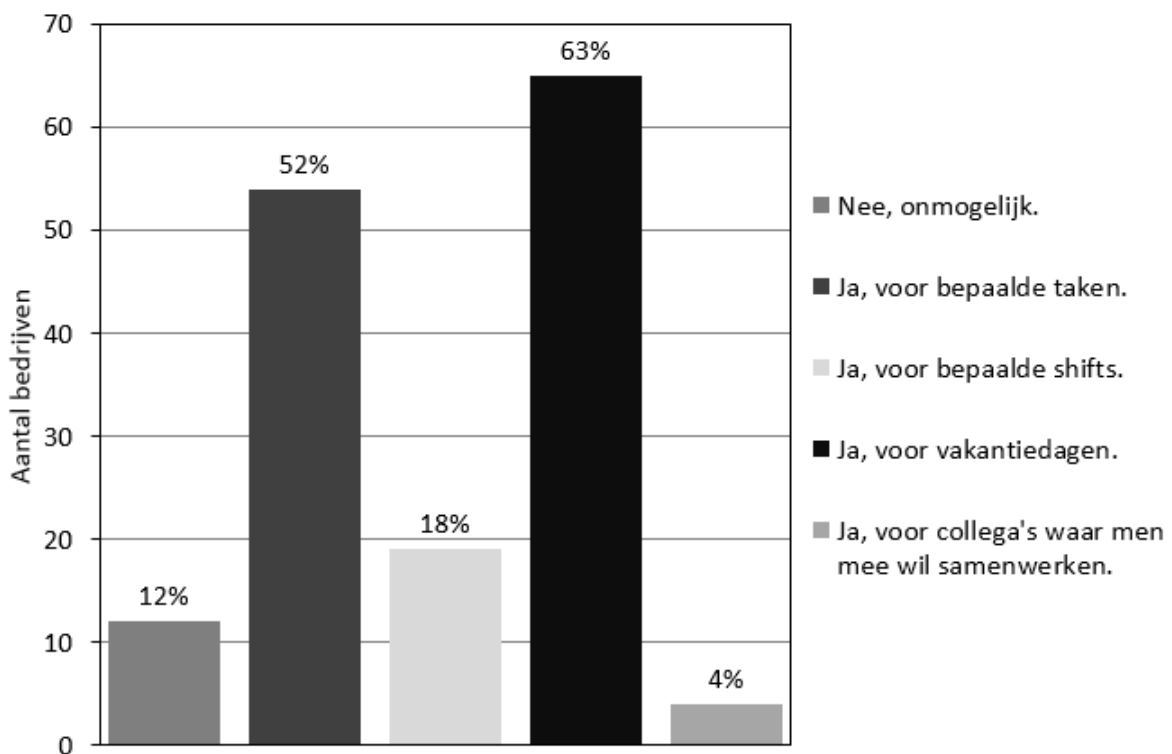
Figuur 8.4: Hoe worden vaardigheden gedefinieerd?

Figuur 8.3 toonde aan dat **heel wat bedrijven aangeven dat ze rekening houden met het vaardigheidsniveau van de werknemers** bij het toewijzen van taken. Op figuur 8.4 is echter te zien dat **bij het merendeel van de bedrijven vaardigheden niet strikt gedefinieerd** worden. Dit wijst erop dat het **rekening houden met de vaardigheden eerder op een subjectieve dan op een objectieve manier gebeurt**.

8.2.9 Preferenties

Rekening houden met preferenties van de werknemers verhoogt de werknemerstevredenheid, maar verhoogt ook de complexiteit van het planningsprobleem (Beliën *et al.*, 2013). Deze preferenties kunnen als zachte of harde restrictie opgenomen worden in het personeelsplanningsprobleem (zie deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 3, sectie 3.3.1.4 Restricties). In de vragenlijst werd gevraagd of de werknemers hun preferenties konden uiten en waarvoor ze hun preferenties konden uiten. Hierbij was het mogelijk om meerdere antwoordmogelijkheden aan te kruisen. Deze vraag werd beantwoord door 104 bedrijven.

Figuur 8.5 toont dat **12% van de ondervraagde ondernemingen geen rekening houdt met de preferenties van hun personeel**. Deze 12% bestaat uit 17% kleine bedrijven, 25% medium bedrijven en 58% grote bedrijven. Dit zou erop kunnen wijzen dat grote bedrijven minder flexibel zijn met de betrekking tot de preferenties van hun personeel. Op basis van de Fisher exact test kunnen we besluiten dat deze verschillen inderdaad significant zijn ($p = 0,032$). Paarsgewijze testen tonen aan dat **grote bedrijven minder rekening houden met de preferenties van werknemers dan kleine en medium bedrijven**. Een mogelijke reden voor deze trend kan zijn dat rekening houden met preferenties een grotere invloed heeft op de complexiteit van het planningsprobleem bij grote bedrijven dan bij kleine en medium bedrijven. Bij grote bedrijven is het aantal werknemers waarvan men de preferenties in rekening moet brengen immers groter. De gebruikte planning tool heeft geen significante invloed op het al dan niet rekening houden met preferenties.



Figuur 8.5: Is het mogelijk voor werknemers om bepaalde preferenties te uiten?

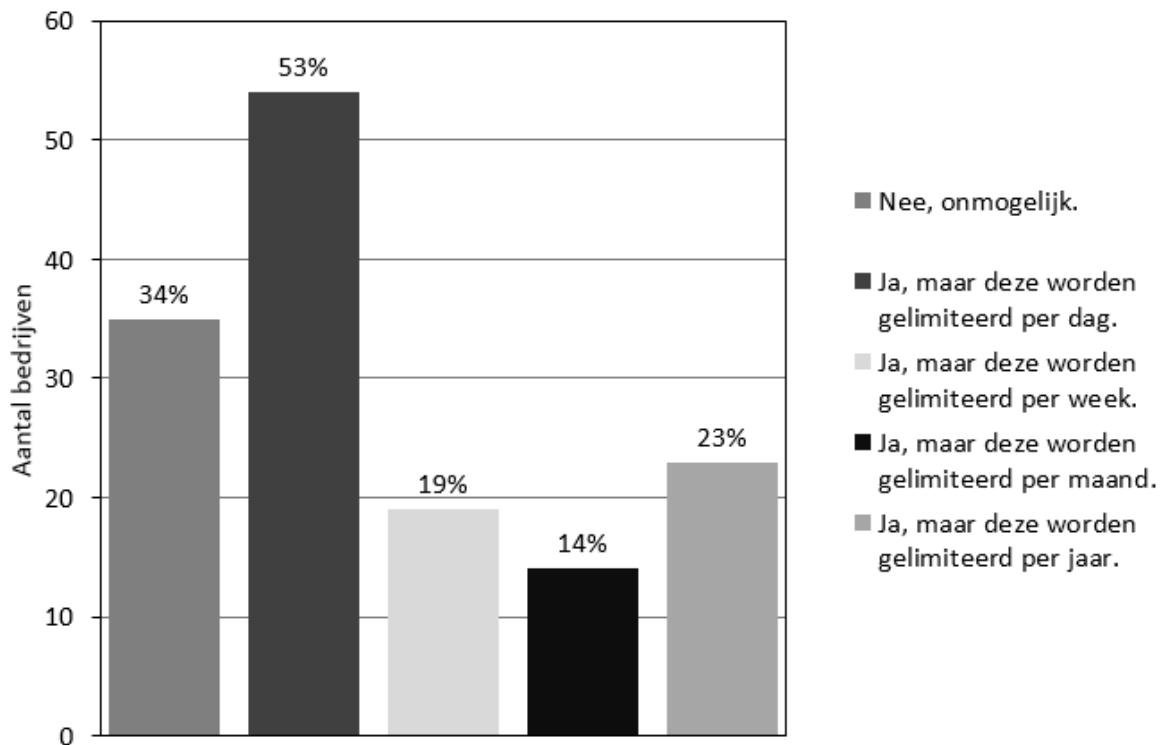
De meerderheid van de ondernemingen (88%) houdt rekening met ten minste één preferentie van haar werknemers ($p < 0,001$). De preferentie waar de meeste bedrijven rekening mee houden, is de voorkeur voor bepaalde vakantiedagen (63%, zie figuur 8.5). Iets

meer dan de helft van de bevroagde bedrijven (52%) houdt rekening met voorkeuren voor bepaalde taken. Dit aantal ligt duidelijk hoger dan bij productieondernemingen, waar slechts 25% van de bedrijven rekening houdt met voorkeuren voor bepaalde taken (Beliën *et al.*, 2013). Verder houdt 18% van de bevroagde ondernemingen rekening met shiftpreferenties. Bij slechts 4% van de bevroagde ondernemingen kunnen werknemers preferenties uiten met betrekking tot de collega's waarmee ze willen samenwerken.

8.2.10 Overuren

Het **gebruik van overuren verhoogt de flexibiliteit** waarmee de personeelsplanning opgesteld kan worden. Deze verhoogde flexibiliteit gaat echter ook gepaard met een **hogere kost**. Overuren zijn immers (veel) duurder voor de werkgever dan gewone uren (sdworx, 2014). Tijdens de bevroaging werd nagegaan of Belgische retailbedrijven gebruik maken van overuren en hoe ze deze overuren limiteren. Hierbij was het mogelijk om meerdere antwoordmogelijkheden aan te kruisen. Deze vraag werd beantwoord door 102 bedrijven.

Figuur 8.6 toont dat in 34% van de bevroagde ondernemingen geen overuren gebruikt worden. **De meerderheid van de ondernemingen (66%) maakt dus wel gebruik van overuren ($p < 0,001$).** De bedrijfsgrootte en de gebruikte planning tool blijken geen significante invloed te hebben op het gebruik van overuren. Bij 53% van de bevroagde ondernemingen worden de overuren gelimiteerd per dag. Deze werkwijze is duidelijk populairder dan het limiteren van overuren per week (19%), per maand (14%) en per jaar (23%). Combinaties vb. overuren gelimiteerd per dag en per week zijn natuurlijk ook mogelijk. Bij 5% van de bevroagde ondernemingen worden meerdere limitaties gecombineerd.



Figuur 8.6: Is het mogelijk om overuren te werken?

8.2.11 Investerings gepland

Op het einde van de vragenlijst werd ook gevraagd of er (binnen het jaar) investeringen gepland waren om het opstellen van de personeelsplanning te verbeteren. Slechts 24% van de ondervraagde bedrijven antwoordde “ja” op deze vraag (106 antwoorden). Dit wil zeggen dat er bij het merendeel van de retailbedrijven geen extra investeringen gepland zijn ($p < 0,001$). Dit is vreemd aangezien heel wat bedrijven aangaven dat er problemen zijn met de huidige manier waarop de personeelsplanning wordt opgesteld (zie ook sectie 8.2.12). Meer dan waarschijnlijk zorgt een **gebrek aan financiële middelen** en de **lagere prioriteit van personeelsplanning ten opzichte van andere bedrijfsactiviteiten** voor de beperkte investeringszin van de bevroegde ondernemingen (Segers, G., 2016).

Wanneer we de relatie tussen de bedrijfsgrootte en de intentie tot investeren bestuderen (zie deel A van tabel 8.9), zien we dat de intentie tot investeren toeneemt met de bedrijfsgrootte (11% bij kleine bedrijven, 18% bij medium bedrijven en 54% bij grote bedrijven). Deze verschillen zijn significant ($p < 0,001$). De stijging tussen kleine en medium bedrijven is

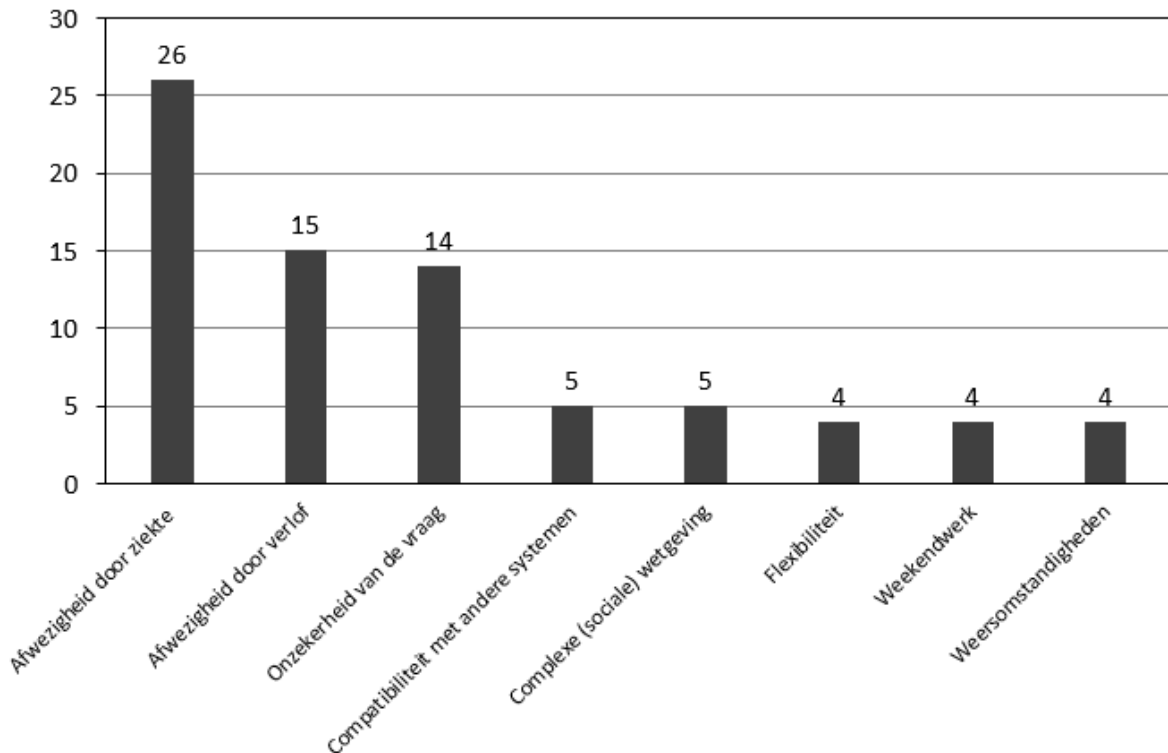
beperkt en niet significant ($p = 0,288$). De stijging tussen kleine en grote bedrijven & medium en grote bedrijven is wel significant ($p < 0,001$ voor klein-groot; $p = 0,002$ voor medium-groot). Deze cijfers tonen aan dat **grote bedrijven een grotere intentie hebben om te investeren om het opstellen van de personeelsplanning te verbeteren dan kleine en medium bedrijven**. Aangezien grotere bedrijven meestal over meer financiële middelen beschikken dan kleine en medium bedrijven, kunnen we stellen dat de beschikbare financiële middelen waarschijnlijk een belangrijke rol spelen bij de intentie tot investeren. Wanneer we de relatie tussen de gebruikte planning tool en de intentie tot investeren bestuderen (zie deel B van tabel 8.9), zien we dat de verschillen tussen de planning tools beperkt zijn en er geen duidelijk trend merkbaar is ($p = 0,062$). We kunnen concluderen dat er **geen éénduidig verband is tussen de intentie tot investeren en de gebruikte planning tool**.

	Investerings: Ja		Investerings: Nee	
A. Bedrijfs grootte				
Alle bedrijven	26	24%	80	76%
Kleine bedrijven	4	11%	32	89%
Medium bedrijven	8	18%	36	82%
Grote bedrijven	14	54%	12	46%
B. Gebruikte planning tools				
Alle planning tools	26	24%	80	76%
Pen & papier	5	23%	17	77%
Excel	9	17%	45	83%
Andere softwareprogramma's	12	40%	18	60%

Tabel 8.9: Investerings gepland vs. geen investeringen gepland

8.2.12 Belangrijkste problemen met betrekking tot de personeelsplanning

Tijdens de vragenlijst werd ook gepolst naar de belangrijkste problemen die gepaard gaan met het opstellen van de personeelsplanning. Slechts 6 van de 80 retailbedrijven die deze vraag invulden, gaven aan geen enkel probleem te ervaren bij het opstellen van de personeelsplanning. Figuur 8.7 geeft een overzicht van de belangrijkste problemen. Enkel antwoorden die door meer dan drie bedrijven gegeven werden, werden in deze figuur opgenomen.



Figuur 8.7: Belangrijkste problemen bij het opstellen van de personeelsplanning

Het belangrijkste probleem is duidelijk het **omgaan met afwezigheden door ziekte**. 26 bedrijven vermeldden dit bij hun belangrijkste problemen. Zieke werknemers zijn een groot probleem. Wanneer werknemers langdurig ziek zijn, kan men hier rekening mee houden tijdens het opstellen van de personeelsplanning. Het is echter niet altijd even éénvoudig om deze ziekte op te vangen met de beschikbare werknemers. Nog grotere problemen treden op wanneer werknemers onverwacht ziek zijn. Aangezien een werknemer niet op voorhand kan weten dat hij ziek zal zijn, moet vaak last-minute naar een oplossing gezocht worden. Dergelijke situaties zorgen voor problemen ook al werd een goede personeelsplanning opgesteld. Het is dan ook van groot belang rekening te houden met bepaalde onzekere gebeurtenissen, zoals ziekte, tijdens het opstellen van de personeelsplanning.

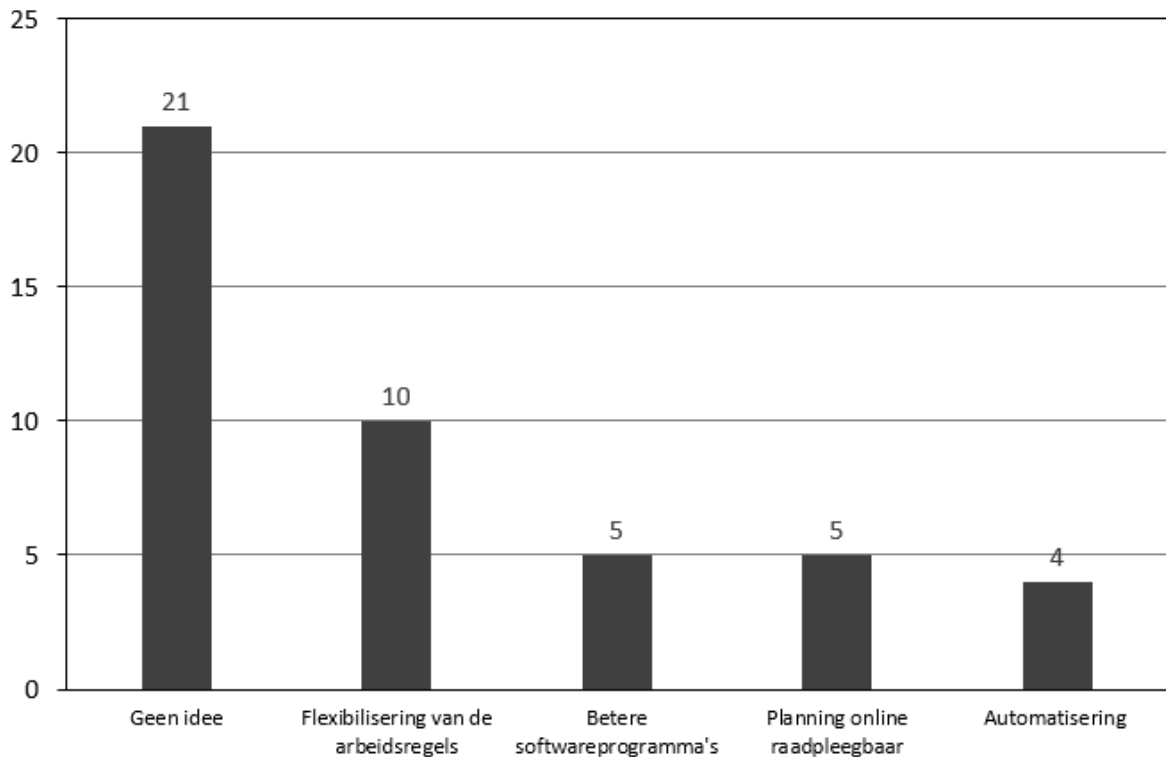
Ook **afwezigheden door verlof** zijn een groot probleem. Hierbij treden er vooral problemen op wanneer werknemers op hetzelfde moment verlof willen nemen (vb. tijdens de zomervakantie). Het vervangen van werknemers die met verlof zijn, is niet altijd even éénvoudig. Vaak is er een ingewikkelde puzzeloefening nodig om ervoor te zorgen dat er op ieder moment voldoende werknemers aanwezig zijn.

Een derde belangrijk probleem is de **onzekerheid van de vraag**. Zoals in deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 3 reeds vermeld werd, zijn retailbedrijven sterk afhankelijk van de vraag (i.e. het aantal klanten). Retailbedrijven verkopen immers rechtstreeks goederen en/of diensten aan de eindconsument. Bovendien kan de vraag sterk fluctueren door externe factoren, bijvoorbeeld het weer. Wanneer het mooi weer is, kan de vraag veel groter zijn dan wanneer het slecht weer is. Bedrijven proberen de vraag te voorspellen met behulp van allerlei voorspellingsmethodes. In hoofdstuk 3 hebben we ook reeds vermeld, dat voorspellingen nooit 100% correct zijn. Meer uitleg over voorspellingsmethodes is beschikbaar in bijlage B. De grote variabiliteit van de vraag zorgt ervoor dat er soms te veel en soms te weinig werknemers aanwezig zijn. Beide situaties kosten geld aan het bedrijf en moeten dan ook vermeden worden.

Enkele problemen die door een kleiner aantal ondernemingen vermeld werden, zijn: **compatibiliteit met andere systemen, complexe (sociale) wetgeving, flexibiliteit, weekendwerk en weersomstandigheden**.

8.2.13 Trends, ontwikkelingen & objectieven

In de vorige sectie rapporteerden de bevroegde retailbedrijven heel wat problemen waarmee ze geconfronteerd worden tijdens het opstellen van de personeelsplanning. Vervolgens werd gevraagd **welke trends, (technologische) ontwikkelingen, ... er volgens hen voor verbeteringen kunnen zorgen** in de manier waarop de personeelsplanning opgesteld wordt. 62 bedrijven gaven een antwoord op deze vraag. De antwoorden worden visueel weergegeven in figuur 8.8. Enkel antwoorden die door meer dan drie bedrijven gegeven werden, werden in deze figuur opgenomen.



Figuur 8.8: Belangrijkste trends, ontwikkelingen, ... voor verbetering personeelsplanning

Figuur 8.8 toont dat 21 bedrijven **geen idee** hebben over hoe het opstellen van de personeelsplanning verbeterd kan worden. 10 bedrijven geven aan dat een **flexibilisering van de arbeidsregels** zou helpen. Dit is niet verwonderlijk aangezien de complexe (sociale) wetgeving en flexibiliteit tot de belangrijkste problemen bij het opstellen van de personeelsplanning behoren (zie sectie 8.2.12). Men wil vooral meer flexibiliteit voor het inplannen van de werkuren van de werknemers. Ook **betere softwareprogramma's** en een **planning die online raadpleegbaar is**, worden door meerdere bedrijven (telkens 5) genoemd als mogelijke verbeteringen voor het personeelsplanningsproces. De eerste suggestie wijst erop dat men niet altijd tevreden is over het huidige systeem, maar het wijst er ook op dat sommige bedrijven niet op de hoogte zijn van het bestaande aanbod of het bestaande aanbod onvoldoende vinden. Zoals reeds vermeld werd, zijn er momenteel meerdere softwareprogramma's voor het opstellen van een personeelsplanning op de markt met een goede performantie (vb. SP Expert, Protime, ...) (Segers, G., 2016). De suggestie om de planning online (via pc, smartphone, ...) raadpleegbaar te maken, zowel voor werkgever als voor werknemer, is logisch. Technologisch is dit immers perfect mogelijk, maar in vele bedrijven wordt dergelijk

systeem nog niet gebruikt. Ontwerpers van softwareprogramma's voor het opstellen van een personeelsplanning moeten ervoor zorgen dat dergelijke functionaliteit ingebouwd is in hun systeem. Vier bedrijven suggereren **automatisering** als verbetering. Dit waren telkens bedrijven die momenteel nog met pen & papier werken. Deze bedrijven hebben de voordelen van softwareprogramma's dus ingezien, maar zijn nog niet overgeschakeld. Tot slot willen we nog vermelden dat er één bedrijf suggereerde om de **werknemers zelf de personeelsplanning te laten opstellen**, waarbij ze onderling moeten negotiëren tot er een planning gevonden wordt waar iedereen tevreden mee is. Deze werkwijze werd reeds kort aangehaald in deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 4, sectie 4.1. De lezer die meer informatie wenst omtrent deze werkwijze wordt aangeraden om het boek *Reinventing organizations* (Laloux, F., 2014) te lezen.

Er werd ook gepolst naar de **toekomstige objectieven** van de bedrijven met betrekking tot de personeelsplanning. 62 bedrijven gaven een antwoord op deze vraag. De antwoorden waren echter zeer divers waardoor het niet mogelijk was om bepaalde algemene conclusies uit deze antwoorden te trekken. De grote diversiteit van de antwoorden wijst er wel op dat **ieder bedrijf zijn eigen, specifieke objectieven nastreeft** en dat deze sterk kunnen verschillen tussen de ondernemingen onderling.

8.3 Conclusies

In deze sectie zullen we de belangrijkste conclusies van dit onderzoek kort bespreken. Deze worden opgelijst in tabel 8.10. Telkens wordt de onderzochte eigenschap met de belangrijkste conclusies vermeld. De volgorde is dezelfde als deze die gebruikt werd in sectie 8.2. De lezer die de data wenst te raadplegen op basis waarvan de verschillende conclusies gemaakt werden, kan dus terugbladeren naar de desbetreffende sectie. De resultaten van dit onderzoek zullen ook gelinkt worden met de bestaande literatuur rond de research-application gap. Tot slot bespreken we de bijdrage van ons onderzoek tot de bestaande literatuur.

Eigenschap	Conclusie
Planning tool	- Excel is de populairste planning tool.
	- Er is een duidelijk verschil tussen kleine, medium en grote retailbedrijven.
	Pen & papier wordt meer gebruikt in kleine dan in medium en grote retailbedrijven.
	Andere softwareprogramma's worden meer gebruikt in grote dan in kleine en medium retailbedrijven.
Waarom planning tool	- Het financiële aspect, de gebruiksvriendelijkheid en de compatibiliteit met andere systemen zijn de vaakst genoemde redenen voor het gebruik van een bepaalde planning tool.
Benodigde tijd	- Grote retailbedrijven besteden meer tijd aan het opstellen van de personeelsplanning dan kleine retailbedrijven.
Centralisatie/decentralisatie	- Grote retailbedrijven stellen hun personeelsplanning vaker gedecentraliseerd op dan kleine en medium retailbedrijven.
	- Excel en andere softwareprogramma's worden vaker gebruikt voor een gedecentraliseerd systeem dan pen & papier.
Shifts	- Retailbedrijven met 1 shift maken vaker gebruik van vaste shifts en retailbedrijven met meerdere shifts maken vaker gebruik van flexibele shifts.
Part-time werknemers	- Grote retailbedrijven doen vaker beroep op part-time werknemers dan kleine retailbedrijven.
	- Andere softwareprogramma's worden vaker gebruikt, wanneer er beroep gedaan wordt op part-time werknemers dan pen & papier.
Vaardigheden en opleiding	- Retailbedrijven houden vooral rekening met vaardigheden bij het toewijzen van werknemers aan taken.
	- Bij de meerderheid van de retailbedrijven zijn de vaardigheden echter niet strikt gedefinieerd. Het rekening houden met vaardigheden gebeurt dus eerder op een subjectieve dan op een objectieve manier.
Preferenties	- Grote retailbedrijven houden minder rekening met de preferenties van werknemers dan kleine en medium retailbedrijven.
Investerings gepland	- Grote retailbedrijven hebben een grotere intentie om te investeren om het opstellen van de personeelsplanning te verbeteren dan kleine retailbedrijven.
Problemen	- Omgaan met afwezigheden door ziekte, afwezigheden door verlof en de onzekerheid van de vraag zijn de belangrijkste problemen bij het opstellen van de personeelsplanning.
Trends, ontwikkelingen, ...	- Flexibilisering van de arbeidsregels, betere softwareprogramma's, een online raadpleegbare planning en automatisering zijn de belangrijkste gerapporteerde trends, ontwikkelingen, ... die het opstellen van de personeelsplanning kunnen verbeteren.

Tabel 8.10: Overzicht belangrijkste conclusies

Dit onderzoek had als voornaamste doel om het al dan niet bestaan van een research-application gap bij retailbedrijven aan te tonen. Op basis van de resultaten van de online vragenlijst, die door 107 Belgische retailbedrijven werd ingevuld, kunnen we besluiten dat er wel degelijk een **research-application gap** bestaat met betrekking tot het opstellen van de personeelsplanning in retailbedrijven. Dit onderzoek toonde immers aan dat niet de (gespecialiseerde) softwareprogramma's maar **Excel de meest populaire planning tool** is. Maar liefst 71% van de bevroegde retailbedrijven gebruikt pen & papier of Excel voor het opstellen van de personeelsplanning. Dit zijn twee tools die toch duidelijk niet specifiek ontworpen werden om een personeelsplanning op te stellen.

Als we het gebruik van de planning tools vergelijken op basis van de bedrijfsgrootte, zien we dat **pen & papier voornamelijk gebruikt wordt in kleine bedrijven, terwijl specifieke planningssoftware meer gebruikt wordt in grote bedrijven**. De vaakst genoemde

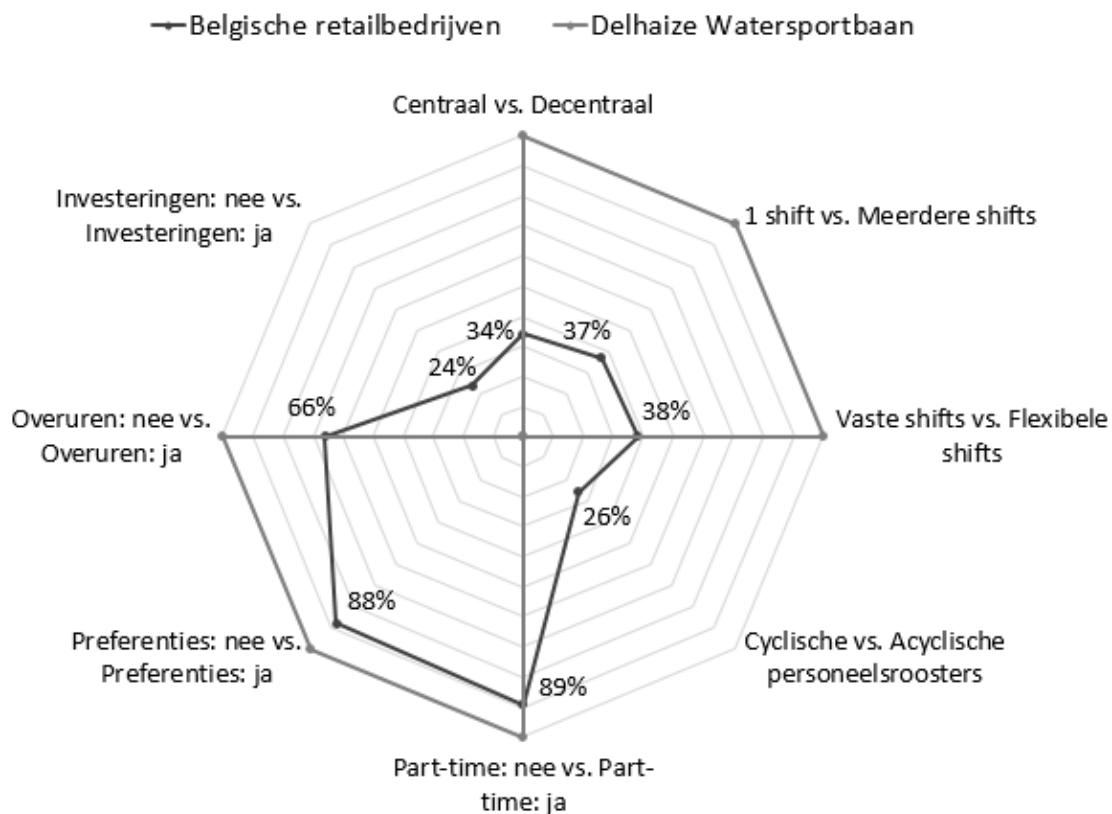
redenen voor het gebruik van een bepaalde planning tool zijn: **het financiële aspect, de gebruiksvriendelijkheid en de compatibiliteit met andere systemen**. Een andere opvallende vaststelling van dit onderzoek is dat **grote retailbedrijven gemiddeld meer tijd besteden aan het opstellen van de personeelsplanning dan kleine retailbedrijven**. De oorzaak hiervan moet voornamelijk gezocht worden in het feit dat er bij grote bedrijven meer werknemers ingepland moeten worden, waardoor het planningsproces langer duurt.

Er werden tijdens dit onderzoek ook heel wat eigenschappen bestudeerd die een belangrijke invloed hebben op het personeelsplanningsproces. De belangrijkste conclusies met betrekking tot deze eigenschappen worden vermeld in tabel 8.10. Deze werden zo duidelijk mogelijk verwoord en zullen hier niet in detail besproken worden. We wensen wel op te merken dat de conclusies zeer specifiek zijn voor een bepaalde eigenschap en er geen duidelijke trend is in de conclusies voor de verschillende eigenschappen. Het is bijvoorbeeld niet zo dat een bepaalde planning tool systematisch meer gebruikt wordt wanneer het personeelsplanningsprobleem complexer wordt.

Omdat het interessant is voor de lezer om een zicht te hebben op hoe een typisch personeelsplanningsprobleem voor een retailbedrijf er nu uitziet, werden een aantal eigenschappen van het personeelsplanningsprobleem uitgezet in een **spinnenwebdiagram**⁷ (zie figuur 8.9). Bij de donkerste lijn worden de percentages voor de **Belgische retailbedrijven** vermeld. We zullen een voorbeeldje gebruiken om de interpretatie van deze percentages te verduidelijken. De eerste eigenschap die getoond wordt is “Centraal vs. Decentraal”. De conditie die eerst vermeld wordt, in dit geval “Centraal”, stelt telkens het midden van het spinnenweb voor. De conditie die laatst vermeld wordt, in dit geval “Decentraal”, stelt telkens de rand van het spinnenweb voor. Bij het observatiepunt dat bij de eigenschap “Centraal vs. Decentraal” hoort, wordt 34% vermeld. Dit wijst erop dat 34% van de Belgische retailbedrijven een gedecentraliseerd systeem gebruikt voor het opstellen van de personeelsplanning. De interpretatie van de percentages bij de andere eigenschappen is analoog. Zo gebruikt 37% van de Belgische retailbedrijven meerdere shifts, 38% gebruikt flexibele shifts, enzovoort. Voor de interpretatie van deze percentages verwijzen we u door naar de desbetreffende secties (zie sectie 8.2). Figuur 8.9 heeft hoofdzakelijk als bedoeling een overzicht te geven van de ge-

⁷Ter volledigheid werd ook de “intentie tot investeren” uitgezet.

vonden waarden voor alle onderzochte eigenschappen. De vragenlijst werd ook ingevuld door **Delhaize Watersportbaan**, de onderneming die data ter beschikking stelde voor het uitvoeren van het onderzoek met betrekking tot het toewijzen van werknemers aan taken (zie hoofdstukken 6 en 7). Delhaize Watersportbaan behoort tot de “grote bedrijven”, aangezien de personeelsplanning voor 124 werknemers opgesteld wordt. De eigenschappen van het personeelsplanningsprobleem van Delhaize Watersportbaan kunnen vergeleken worden met de gemiddeldes voor de Belgische retailbedrijven (zie figuur 8.9).



Figuur 8.9: Eigenschappen personeelsplanning bij Belgische retailbedrijven

De belangrijkste problemen die Belgische retailbedrijven ervaren bij het opstellen van hun personeelsplanning zijn: **omgaan met afwezigheden door ziekte, afwezigheden door verlof en de onzekerheid van de vraag**. Ondanks de grote hoeveelheid problemen die aangehaald werden door de Belgische retailbedrijven heeft **slechts 24% van de bevroegde ondernemingen (binnen het jaar) investeringen gepland** om het opstellen van de personeelsplanning te verbeteren. **Flexibilisering van de arbeidsregels, betere software-programma's, een online raadpleegbare planning en automatisering** zijn de belang-

rijkste gerapporteerde trends, ontwikkelingen, . . . die het opstellen van de personeelsplanning kunnen verbeteren.

Het feit dat het bestaan van de research-application gap zowel bij retailbedrijven (in ons onderzoek) als bij productieondernemingen (in het onderzoek van Beliën *et al.* (2013)) werd aangetoond, wijst erop dat het bestaan van de **research-application gap waarschijnlijk niet sectorspecifiek is**. De research-application gap is meer dan waarschijnlijk ook aanwezig in heel wat andere sectoren. Onderzoek in andere sectoren is noodzakelijk om deze stelling te bevestigen. Verder zou men ook het **bestaan van de research-application gap in andere landen** kunnen bestuderen. Misschien is het gebruik van gespecialiseerde personeelsplanningssoftware in andere landen al meer ingeburgerd dan in België.

Eén van de belangrijkste redenen voor het bestaan van de research-application gap is volgens Van den Bergh *et al.* (2013) het **gebrek aan opname van onzekerheid** in het model door de onderzoekers. Deze stelling wordt bevestigd door het onderzoek van Berglund & Karlton (2007) die een bevraging deden bij planners (werknemers die bij hun bedrijf verantwoordelijk zijn voor het opstellen van de personeelsplanning). Deze gaven immers aan dat de grote hoeveelheid onzekere gebeurtenissen ervoor zorgt dat ze eerder gebruik maken van spreadsheets zoals Excel dan van gespecialiseerde planningssoftware. Deze stelling wordt ook ondersteund door ons eigen empirisch onderzoek en het onderzoek van Beliën *et al.* (2013). Beide onderzoeken tonen aan dat spreadsheets zoals Excel duidelijk de meest gebruikte planning tool zijn bij de bevroegde ondernemingen. Op basis van bovenstaande uiteenzetting kunnen we dus besluiten dat **onderzoekers die willen dat hun algoritmes in de praktijk meer gebruikt worden, moeten focussen op een betere incorporatie van onzekerheid in hun modellen**. Andere redenen die ervoor zorgen dat spreadsheets zoals Excel in de praktijk meer gebruikt worden dan gespecialiseerde planningssoftware zijn: **bepaalde compatibiliteit met andere systemen, de planningssoftware is te complex en het feit dat men niet over de nodige data beschikt om gespecialiseerde planningssoftware te kunnen gebruiken** (Berglund & Karlton, 2007). Voor een uitgebreide bespreking van de oorzaken van en de mogelijke oplossingen voor de research-application gap verwijzen we u door naar deel 1 Literatuurstudie, hoofdstuk 5.

Tot slot willen we nog even focussen op de **bijdrage van ons onderzoek**. Ons onderzoek is, voor zover wij weten, het eerste empirisch onderzoek dat gedaan werd naar de research-application gap bij (Belgische) retailbedrijven. Op basis van de data die tijdens dit onderzoek verzameld werden, werd het **bestaan van de research-application gap bij Belgische retailbedrijven aangetoond**. Bedrijven werden ingedeeld in klein, medium en groot zodat de invloed van bedrijfsgrootte op de gebruikte planning tool getest kon worden. Verder werden nog heel wat andere variabelen die het personeelsplanningsprobleem beïnvloeden, bestudeerd. Ook de belangrijkste problemen bij het opstellen van een personeelsplanning en trends, ontwikkelingen, ... die het personeelsplanningsproces kunnen verbeteren, werden behandeld.

Ons onderzoek heeft ervoor gezorgd dat de **deelnemende retailbedrijven** op zijn minst eens nagedacht hebben over de huidige manier waarop de personeelsplanning wordt opgesteld. Veel bedrijven gebruiken al jarenlang dezelfde methode voor het opstellen van de personeelsplanning en ons onderzoek kan ervoor zorgen dat men binnen het bedrijf nagaat of deze methode nog steeds de beste methode is voor het bedrijf en men eventueel verandert van methode. De data en conclusies van ons onderzoek zijn niet alleen interessant voor de retailbedrijven zelf, maar ook voor de **onderzoekers** die algoritmes ontwikkelen voor het oplossen van het personeelsplanningsprobleem en voor **bedrijven die commerciële planningssoftware ontwikkelen**. Enerzijds krijgen ze een kwantitatief zicht op het huidige gebruik van planning tools. Anderzijds kunnen ze de resultaten ook gebruiken om hun planningssoftware beter af te stellen op de wensen van de klant en duidelijke voordelen te bieden ten opzichte van pen & papier en Excel.

Eén van de **bepalingen van dit onderzoek** is de **bepaalde steekproefgrootte** (107 retailbedrijven). Dit aantal is vergelijkbaar met het aantal ondernemingen dat bevestigd werd bij het onderzoek van Beliën *et al.* (2013, 123 bedrijven) en is voldoende om statistische testen uit te voeren. Desalniettemin, zou een grotere steekproef gezorgd hebben voor een grotere betrouwbaarheid van de resultaten. De betrouwbaarheid van het onderzoek stijgt immers met de steekproefgrootte (De Pelsmacker & Van Kenhove, 2014, Hoofdstuk 6). Het vinden van respondenten om mee te werken aan dergelijk onderzoek is echter niet éénvoudig. Een andere beperking van dit onderzoek is dat het **kostenaspect van de planning tools** niet

belicht wordt. Pen & papier en Excel zijn zeer goedkoop, de kostprijs van planningssoftware varieert echter sterk, afhankelijk van de functionaliteiten. Het zou interessant zijn om verder te onderzoeken in welke mate de kostprijs een rol speelt bij het kiezen van een planning tool. Om diepgaandere inzichten te krijgen in de drijfveren om een bepaalde planning tool te gebruiken, zou het bovendien interessant zijn om **kwalitatief onderzoek op basis van bijvoorbeeld diepte-interviews** uit te voeren.

Hoofdstuk 9

Conclusies en verder onderzoek

Dit laatste hoofdstuk bevat de **belangrijkste conclusies van deze masterproef** (zie sectie 9.1). In deze sectie worden ook de **onderzoeksvragen van deze masterproef beantwoord**. Eerst wordt de onderzoeksvraag over het personeelsplanningsproces in de retailsector beantwoord (zie sectie 9.1.1). Hierna focussen we afzonderlijk op de twee centrale thema's van deze masterproef: de toewijzing van werknemers aan taken (zie sectie 9.1.2) en de research-application gap bij retailbedrijven (zie sectie 9.1.3). In sectie 9.2 worden tot slot nog **een aantal richtlijnen voor verder onderzoek** gegeven.

9.1 Conclusies

9.1.1 Personeelsplanning in de retailsector

De eerste hoofdstukken van deze masterproef (hoofdstukken 2 en 3) hadden als hoofddoel om de lezer de nodige kennis te verschaffen om het vervolg van de masterproef aan te vatten. De informatie over de retailsector en het personeelsplanningsproces die in deze hoofdstukken gegeven werd, stelt ons bovendien in staat om een antwoord te formuleren op de eerste onderzoeksvraag van deze masterproef: **“Verschilt het opstellen van een personeelsplanning in de retailsector sterk met het opstellen van een personeelsplanning in andere sectoren?”**.

Er zijn een aantal aspecten die het opstellen van een personeelsplanning bij een retailbedrijf anders maken dan het opstellen van een personeelsplanning bij een ander type bedrijf. Zo

hebben veel retailbedrijven een **vrij complex shiftsysteem** waarbij shifts elkaar overlappen. In de retailsector wordt (in vergelijking met andere sectoren) ook zeer veel gebruik gemaakt van **deeltijdse werknemers**. Verder is de retailsector een **zeer vrouwelijke sector**, dit zorgt voor een aantal andere restricties dan in sectoren waar hoofdzakelijk mannen werken. Zo is de vraag naar flexibele werkuren bij vrouwen groter omdat ze bijvoorbeeld graag de kinderen van school willen gaan halen. De retailsector wordt ook gekenmerkt door een **zeer volatiele vraag**. Deze vraag wordt immers bepaald door het aantal klanten dat naar de winkel komt. Dit aantal kan sterk variëren gedurende de dag (meestal een piek over de middag en 's avonds) en is vaak ook sterk afhankelijk van externe factoren zoals het weer. De **taken** die in een retailbedrijf moet uitgevoerd worden is meestal **zeer uitgebreid en divers**. Door deze grote diversiteit aan taken en benodigde competenties is het **toewijzen van de juiste werknemer aan de juiste taak moeilijker dan in veel andere sectoren**. Tot slot is er een **grote nood aan flexibiliteit bij retailbedrijven**. Er kunnen immers heel wat onverwachte gebeurtenissen optreden, waardoor het van belang is dat de personeelsplanning zeer flexibel is.

Ondanks bovenstaande verschillen kunnen we niet stellen dat het personeelsplanningsproces sterk verschilt bij retailbedrijven ten opzichte van andere sectoren. **De basisstappen van het personeelsplanningsproces zijn immers hetzelfde**. Tijdens het formuleren van het personeelsplanningsprobleem moet men wel rekening houden met bovenvermelde factoren en hierdoor zal het personeelsplanningsprobleem van een doorsnee retailbedrijf er wel wat anders uitzien dan het personeelsplanningsprobleem van een bedrijf uit een andere sector. De basisprincipes voor het opstellen van een personeelsplanning blijven echter hetzelfde. Ook de gebruikte oplossingsmethodes zullen gelijkaardig zijn.

We kunnen dus concluderen dat er een aantal factoren zijn, die typisch zijn voor de retailsector, die een invloed hebben op het personeelsplanningsprobleem. Het basisproces voor het opstellen van een personeelsplanning is echter steeds ongeveer hetzelfde en kan dus ook voor retailbedrijven toegepast worden. **Het opstellen van een personeelsplanning in de retailsector verschilt dus niet zo sterk met het opstellen van een personeelsplanning in een andere sector.**

9.1.2 Toewijzing van werknemers aan taken

In deze sectie zullen we de belangrijkste conclusies van de experimenten die we in hoofdstuk 7 uitgevoerd hebben, nog eens kort bespreken. Voor een uitvoerige bespreking van de resultaten verwijzen we u door naar de desbetreffende secties in hoofdstuk 7. In ons onderzoek hebben we verschillende toewijzingsmethodes met elkaar vergeleken op basis van de benodigde duurtijd om een bepaalde takenset uit te voeren (C_{max}). Hierbij werden verschillende testsituaties onderzocht. Belangrijk om op te merken is dat onderstaande conclusies dus gelden voor het gebruikte testdesign. Voor een bespreking van de bijdrage van ons onderzoek tot de bestaande literatuur, dient u sectie 7.3 (zie hoofdstuk 7) te raadplegen. Aan het einde van deze sectie zullen we op basis van de conclusies van ons onderzoek, de tweede onderzoeksvraag van deze masterproef beantwoorden.

Als algemene trend wensen we te vermelden dat de **duurtijd van de uit te voeren taken een zeer belangrijke invloed** had op de meest optimale toewijzingsmethode. De meeste experimenten werden dan ook zowel voor korte als voor lange taken uitgevoerd. In de eerste 4 experimenten (zie sectie 7.1.2.1) werd er gefocust op de effecten van *learning* bij de first-come-first-serve en de best-fit methode. Het eerste experiment toonde aan dat de **learning methode bij de first-come-first-serve methode significant betere resultaten** oplevert dan de non-learning methode bij korte taken (10 tijdseenheden). Wanneer de duurtijden van de taken echter verlengd werden (500 tijdseenheden) namen de voordelen van de *learning* methode gevoelig af. In het tweede experiment stelden we vast dat, wanneer *learning* mogelijk is, de **first-come-first-serve methode beter presteert dan de best-fit methode bij korte taken**. Dit wijst erop dat de best-fit methode het leerproces van de werknemers zodanig vertraagt dat de voordelen van de efficiëntere toewijzing niet zichtbaar zijn. **Bij lange taken presteerde de best-fit methode het best**. Hier overweegt het voordeel van het efficiënter toewijzen wel op het nadeel van het trager leerproces. In experimenten 3 en 4 werd aangetoond dat het **leerproces bij de best-fit methode inderdaad veel trager verloopt dan bij de first-come-first-serve methode**.

In sectie 7.1.2.2 werden experimenten voor een hybride methode (combinatie van first-come-first-serve en best-fit methode) uitgevoerd. Uit experimenten 5 en 6 bleek dat het **gebruik van een hybride methode geen tijdsvoordeel oplevert bij korte en lange taken**. **Bij**

middellange taken (100 tijdseenheden) presteerde de hybride methode wel beter dan de first-come-first-serve en best-fit methode. In experiment 7 werd met variërende taakduurtijden gewerkt (hiervoor duurde iedere taak even lang). De belangrijkste vaststelling van dit experiment was dat ook bij variërende taakduurtijden de first-come-first-serve het best presteert wanneer de taken set voornamelijk uit korte taken bestaat en de best-fit methode het best presteert wanneer de taken set voornamelijk uit lange taken bestaat.

In sectie 7.1.2.3 werden een aantal losse experimenten uitgevoerd. Experiment 8 toonde aan dat een **decentrale toewijzingsmethode het best presteert bij korte taken, terwijl een centrale toewijzingsmethode het best presteert bij lange taken.** In experiment 9 werd aangetoond dat **de voordelen wanneer de werknemers op voorhand op de hoogte zijn van hun vaardigheidsniveau beperkt zijn** ten opzichte van de situatie waarbij de werknemers niet op de hoogte zijn, maar dit steeds beter leren inschatten. Uiteraard levert de situatie waarbij alle werknemers alle taken kunnen uitvoeren de beste resultaten op. Deze situatie werd dan ook als benchmark gebruikt. In experiment 10 werd aangetoond dat ook het **aantal werknemers dat beschikbaar is een belangrijke invloed** heeft op de totale benodigde duurtijd om alle taken uit te voeren.

In sectie 7.1.2.4 werden verschillende priority rules voor het selecteren van een taak en het toewijzen van een werknemer getest. In experiment 11 werd aangetoond dat het **gebruik van priority rules bij taakselectie zeker aan te raden** is. We constateerden echter ook dat de best presterende priority rule afhankelijk was van de gebruikte toewijzingsmethode. We kunnen dan ook concluderen dat er bij iedere specifieke situatie op zoek gegaan moet worden naar de best presterende priority rule, aangezien er geen enkele priority rule is die telkens beter presteert dan de rest. Uit experiment 12, waarin verschillende toewijzingsmethodes voor het toewijzen van een werknemer aan een taak vergeleken werden, bleek dat de **highest estSkillLevel methode bij korte taken het best presteerde** van alle onderzochte toewijzingsmethodes. Bij lange taken was de **best-fit methode de primus**.

Tot slot werden een aantal experimenten opnieuw uitgevoerd, maar nu met behulp van de data van Delhaize Watersportbaan. De belangrijkste vaststelling hierbij was dat het moeilijk was om de *real-life* data binnen het theoretische basisalgoritme te doen passen. Hiervoor moesten heel wat assumpties genomen worden. De resultaten van deze experimenten zijn dan

ook zeer specifiek voor de onderzochte situatie bij Delhaize Watersportbaan en kunnen niet zomaar veralgemeend worden voor alle retailbedrijven.

Op basis van bovenstaande conclusies kunnen we nu een antwoord formuleren op de tweede onderzoeksvraag van deze masterproef: **“Welke toewijzingsmethode wordt best gebruikt om werknemers aan taken toe te wijzen?”**. De uitgevoerde experimenten hebben aangetoond dat er niet éénbepaalde toewijzingsmethode is die altijd beter presteert dan de andere. De toewijzingsmethode die ervoor zorgt dat de taken set het snelst uitgevoerd wordt, hangt dus af van de karakteristieken van het task allocation probleem. Hierbij speelt de duurtijd van de taken uit de taken set een belangrijke rol. Bij korte taken presteerde de highest est-SkillLevel methode het best in ons onderzoek, bij lange taken presteerde de best-fit methode het best. Ons onderzoek toonde ook aan dat het in sommige gevallen interessant kan zijn om twee toewijzingsmethodes met elkaar te combineren. De combinatie van parameters met betrekking tot de taken, werknemers, mogelijkheid tot “leren”, ... zal dus bepalen welke toewijzingsmethode best gehanteerd wordt. **We kunnen met andere woorden besluiten dat de beste toewijzingsmethode afhankelijk is van het specifieke task allocation probleem dat onderzocht wordt.**

9.1.3 Research-application gap bij retailbedrijven

In deze sectie zullen we een antwoord formuleren op de derde onderzoeksvraag van deze masterproef. We doen dit op de basis van de resultaten van ons eigen empirisch onderzoek met betrekking tot het bestaan van een research-application gap bij Belgische retailbedrijven. Hierna zullen we nog een aantal interessante conclusies van ons onderzoek vermelden. Voor een uitvoerige bespreking van de resultaten en een toelichting van de bijdrage van ons onderzoek tot de bestaande literatuur verwijzen we u door naar sectie 8.3 (zie hoofdstuk 8).

Ons empirisch onderzoek bij 107 Belgische retailbedrijven toonde aan dat er wel degelijk een research-application gap is bij de Belgische retailbedrijven wanneer het gaat over de personeelsplanning. **Het antwoord op de derde onderzoeksvraag van deze masterproef: “Is er een research-application gap (met betrekking tot de personeelsplanning) in de Belgische retailsector?” is dus “ja”**. Ons onderzoek toonde immers aan dat niet de gespecialiseerde softwareprogramma’s maar **Excel de meest populaire planning tool**

is bij Belgische retailbedrijven. Maar liefst 71% van de bevroagde retailbedrijven gebruikt pen & papier of Excel voor het opstellen van de personeelsplanning. Dit zijn twee tools die toch duidelijk niet specifiek ontworpen werden om een personeelsplanning op te stellen.

Als we het gebruik van de planning tools vergelijken op basis van de bedrijfsgrootte, zien we dat **pen & papier voornamelijk gebruikt wordt in kleine bedrijven, terwijl specifieke planningssoftware meer gebruikt wordt in grote bedrijven**. De vaakst genoemde redenen voor het gebruik van een bepaalde planning tool zijn: **het financiële aspect, de gebruiksvriendelijkheid en de compatibiliteit met andere systemen**. De redenen waarom gespecialiseerde planning tools in de praktijk minder vaak gebruikt worden en er dus een research-application gap is, zijn hier dan ook aan gerelateerd. **Het gebrek aan opname van onzekerheid, de beperkte compatibiliteit met andere systemen, het feit dat de planningssoftware te complex is en het feit dat men niet over de nodige data beschikt om gespecialiseerde planningssoftware te kunnen gebruiken**, zijn enkele van de oorzaken voor de research-application gap die vaak genoemd worden in de literatuur.

De vaststelling dat het bestaan van de research-application gap zowel bij retailbedrijven (in ons onderzoek) als bij productieondernemingen (in het onderzoek van Beliën *et al.* (2013)) werd aangetoond, wijst erop dat het bestaan van de **research-application gap waarschijnlijk niet sectorspecifiek is**. De research-application gap is meer dan waarschijnlijk ook aanwezig in heel wat andere sectoren. Onderzoek in andere sectoren is noodzakelijk om deze stelling te bevestigen (zie ook sectie 9.2).

Tot slot wensen we nog te vermelden dat **omgaan met afwezigheden door ziekte, afwezigheden door verlof en de onzekerheid van de vraag** de belangrijkste problemen zijn die Belgische retailbedrijven ervaren bij het opstellen van hun personeelsplanning. Ondanks de grote hoeveelheid problemen die aangehaald werden door de Belgische retailbedrijven heeft **slechts 24% van de bevroagde ondernemingen (binnen het jaar) investeringen gepland** om het opstellen van de personeelsplanning te verbeteren. **Flexibilisering van de arbeidsregels, betere softwareprogramma's, een online raadpleegbare planning en automatisering** zijn de belangrijkste gerapporteerde trends, ontwikkelingen, ... die het opstellen van de personeelsplanning kunnen verbeteren.

9.2 Richtlijnen voor verder onderzoek

9.2.1 Toewijzing van werknemers aan taken

Eén van de belangrijkste **beperkingen van ons onderzoek rond het toewijzen van werknemers aan taken** is het feit dat het gebruikte model een **zeer veréenvoudigde versie van de werkelijkheid** is, waardoor het zeer moeilijk is om dit model in de praktijk te gebruiken. De experimenten op de *real-life* data van Delhaize Watersportbaan toonden dit aan. Ook hier treedt het fenomeen van de **research-application gap** dus op. Een interessante mogelijkheid voor verder onderzoek zou dus kunnen zijn om het **basismodel aan te passen, zodat het nauwer aansluit bij de realiteit** en voor praktische toepassingen gebruikt kan worden.

Verder zijn er heel wat mogelijkheden om nog **extra experimenten**, die voor nieuwe inzichten kunnen zorgen in het task allocation probleem, uit te voeren. Men kan de **parameters op een andere manier laten variëren, meerdere parameters tegelijk laten variëren, nieuwe parameters aan het model toevoegen, ...** Een voorbeeld van een parameter die men kan toevoegen aan het model is een ander soort “leren” dan in ons onderzoek gebruikt werd. In ons onderzoek had het “leren” betrekking op het steeds accurater kunnen inschatten van het (constante) vaardigheidsniveau. Men kan echter ook een vorm van “leren” integreren in het model, waarbij het vaardigheidsniveau van de werknemers kan stijgen naarmate deze werknemers meer taken uitgevoerd hebben. Verder kunnen ook **andere performantiemaatstaven** gebruikt worden om het task allocation probleem te onderzoeken. In ons onderzoek hebben we vooral gefocust op het tijdsaspect en gebruikten we de totale duurtijd om alle taken uit te voeren (C_{max}) als performantiemaatstaf. In verder onderzoek zou men de verschillende toewijzingsmethododes kunnen vergelijken op basis van andere interessante performantiemaatstaven, zoals bijvoorbeeld de bezettingsgraad.

Tot slot zou ook de **volgorde waarin de toewijzing gebeurt**, aangepast kunnen worden. In de experimenten die in deze masterproef werden uitgevoerd, werd gebruik gemaakt van **sequentiële toewijzing**¹. Op ieder tijdstip t kon er slechts één werknemer aan één taak toegewezen worden. Men zou nieuwe testen kunnen uitvoeren waarbij men gebruik maakt

¹Enkel bij de decentrale toewijzingsmethode konden meerdere taken tegelijk gestart worden (1 per afdeling). In alle andere experimenten werd sequentiële toewijzing gebruikt.

van **parallele toewijzing**. Hierbij kunnen op ieder tijdstip t meerdere werknemers toegevoegd worden aan meerdere taken. Deze aanpassing zou de praktische toepasbaarheid van het algoritme verhogen, aangezien men in de praktijk meestal gebruik maakt van parallele toewijzing.

9.2.2 Research-application gap bij retailbedrijven

Eén van de **beperkingen van ons onderzoek** is de **beperkte steekproefgrootte** (107 retailbedrijven). Dit aantal is vergelijkbaar met het aantal ondernemingen dat bevestigd werd bij het onderzoek van Beliën *et al.* (2013, 123 bedrijven) en is voldoende om statistische testen uit te voeren. Desalniettemin, zou een grotere steekproef gezorgd hebben voor een grotere betrouwbaarheid van de resultaten. De betrouwbaarheid van het onderzoek stijgt immers met de steekproefgrootte (De Pelsmacker & Van Kenhove, 2014, Hoofdstuk 6). Het vinden van respondenten om mee te werken aan dergelijk onderzoek is echter niet éénvoudig.

Een grootschalig onderzoek naar de research-application gap waarbij meerdere sectoren tegelijk onderzocht worden, zou belangrijke resultaten met betrekking tot de **veralgemeenbaarheid van de research-application gap** kunnen opleveren. Het feit dat de research-application gap zowel bij retailbedrijven (aangetoond in ons onderzoek) als bij productieondernemingen (aangetoond in het onderzoek van Beliën *et al.* (2013)) aanwezig is, doet immers vermoeden dat het fenomeen van de research-application gap niet sectorspecifiek is. Om deze stelling te bevestigen is er echter verder onderzoek nodig. Men zou ook kunnen kijken naar de **verschillen tussen landen**. Misschien is het gebruik van gespecialiseerde personeelsplanningssoftware in andere landen al meer ingeburgerd dan in België.

Een andere beperking van ons onderzoek is dat het **kostenaspect van de planning tools** niet belicht wordt. Pen & papier en Excel zijn zeer goedkoop, de kostprijs van planningssoftware varieert echter sterk, afhankelijk van de functionaliteiten. Het zou interessant zijn om verder te onderzoeken in welke mate de kostprijs een rol speelt bij het kiezen van een planning tool. Om diepgaandere inzichten te krijgen in de drijfveren om een bepaalde planning tool te gebruiken, zou het bovendien interessant zijn om **kwalitatief onderzoek op basis van bijvoorbeeld diepte-interviews** uit te voeren.

Bijlage A

Extra informatie over de retailsector

In deze bijlage is, voor de geïnteresseerde lezer, nog wat extra (achtergrond)informatie met betrekking tot de retailsector opgenomen. Retail is de dag van vandaag niet meer hetzelfde als retail 100, 1.000, 10.000, ... jaar geleden. Daarom wordt in sectie A.1 de **evolutie van retail** besproken. Eén van de belangrijkste mijlpalen binnen deze evolutie is de **opkomst van het supermarktconcept**. Aangezien de praktijkstudie uitgevoerd werd bij een supermarkt (Delhaize Watersportbaan te Gent), wordt hier nog wat dieper op ingegaan in een aparte sectie (sectie A.2). Tot slot geven we in sectie A.3 nog een **overzicht van een aantal trends** die de retailsector momenteel beheersen of die een grote impact kunnen hebben op de toekomst van de retailsector.

A.1 Evolutie retail

In deze sectie geven we een kort overzicht van hoe retail in de loop der jaren geëvolueerd is. We doen dit aan de hand van een aantal mijlpalen, die een grote invloed gehad hebben op de manier van handel drijven en dus ook op de gevolgde processen binnen de retail. Deze sectie is hoofdzakelijk gebaseerd op het artikel *De evolutie van retail in tienduizend jaar* (Retailwatching, 2015).

9000-6000 v.C. Ruilsystemen werden veelvuldig gebruikt tijdens deze periode. Dieren, wapens en werktuigen waren de voornaamste ruilgoederen.

- 3000 v.C.** In Mesopotamië werd toen voor het eerst gebruik gemaakt van **munten**. Het grote voordeel van het gebruik van munten als ruilmiddel was dat het veel gemakkelijker verhandelbaar en transporteerbaar was dan bijvoorbeeld dieren. De waarde van de munten werd bepaald door de grondstof waaruit ze gemaakt werden (goud, zilver, brons, . . .) en het gewicht.
- 800 v.C.** In het oude Griekenland werden voor het eerst goederen verhandeld op een speciaal daarvoor voorziene **marktplaats**. Dit zorgde ervoor dat kopers en verkopers veel gemakkelijker met elkaar in contact konden komen.
- 200 v.C.** In China werd vanaf 200 v.C. gebruik gemaakt van (primitieve) **boekhoudsystemen**. Hierbij werden alle transacties bijgehouden, zodat men een overzicht kreeg van alle inkomsten en uitgaven.
- 1883** James Ritty vond het eerste **kassasysteem** uit. Hierdoor kon het geld op een veel efficiëntere manier bijgehouden en gebruikt worden dan voorheen.
- 1890-1920** Tijdens deze periode vond de opkomst van de **warenhuizen** plaats. Voorheen had je zeer veel kleine, gespecialiseerde winkeltjes (vb. bakkerij, beenhouwerij, groentewinkel, . . .). De opkomst van het warenhuis, met zijn groter en gevarieerder assortiment, zorgde ervoor dat (bijna) alle boodschappen in dezelfde winkel gedaan konden worden.
- 1920** In 1920 kwam de eerste **kredietkaart** op de markt. Dit vergemakkelijkte het betalingsproces voor de klanten, die nu niet meer verplicht waren om cash geld bij zich te hebben.
- 1930-1937** In deze periode vonden een aantal gebeurtenissen plaats die het retaillandschap grondig veranderd hebben. In 1930 werden de **eerste supermarkt** en het **eerste winkelcentrum** geopend en in 1937 werd de **winkelkar** uitgevonden door Sylvan Goldman. In sectie A.2 Ontstaan supermarktconcept gaan we verder in op deze ontwikkelingen.
- 1974** In 1974 werd voor het eerst gebruik gemaakt van **barcodes**. Deze zorgden ervoor dat het kassaproces veel sneller kon verlopen dan voorheen.
- 1994** **Online shopping** werd in 1994 voor het eerst toegepast. Pizza Hut was het eerste bedrijf dat hiervan gebruik maakte. In 1995 verkocht Amazon.com zijn eerste boek

online (en er zouden er nog vele volgen).

1997 Coca-Cola introduceerde in 1997 het **mobiel betalen**, betalen met de gsm, voor het kopen van een drankje uit een drankautomaat.

2007 De **opkomst van sociale media** zorgde ervoor dat retailers een nieuw kanaal hadden om klanten te bereiken. In 2007 telde Facebook al meer dan 100 000 bedrijfspagina's, die allemaal als doel hadden om extra klanten aan te trekken.

2010-2015 In deze periode nam het belang van **e-commerce** sterk toe. Bedrijven probeerden de voordelen van *brick-and-mortar* winkels en online winkels te combineren wat leidde tot **omnichannel winkels**. Er kwamen ook heel wat **nieuwe technologieën** op de markt. Vooral technologieën die zoveel mogelijk data van klanten verzamelden waardoor de retailers hier optimaal op konden inspelen, waren zeer populair. Een voorbeeld hiervan is de iBeacon technologie, die geïntroduceerd werd door Apple. iBeacon registreert de signalen van alle iPhones die in de buurt zijn. Retailers kunnen hierop inspelen door bijvoorbeeld online kortingsbonnen te versturen naar deze potentiële klanten.

A.2 Ontstaan supermarktconcept

Aangezien het praktijkgedeelte van deze thesis werd uitgevoerd bij een vestiging van Delhaize, één van de grootste supermarktketens in België, zullen we in deze sectie wat dieper ingaan op het supermarktconcept. Het supermarktconcept is ontstaan in de Verenigde Staten en later overgewaaid naar Europa en de rest van de wereld. Vandaar dat in deze sectie eerst gefocust wordt op de Amerikaanse markt, hierna behandelen we de situatie in België en Europa. Deze sectie is hoofdzakelijk gebaseerd op *The Evolution of the Supermarket Industry: From A&P to Wal-Mart* (Ellickson, 2011).

Doorbraak ketenmodel begin 20ste eeuw

Voor 1900 kochten mensen hun behoeften bij lokale **“speciaalzaken”** (Tedlow, 1990). Vlees werd bij de beenhouwer gekocht, vis bij de visboer, brood bij de bakker en groenten bij de groenteboer. Het verkoopvolume van deze kleine winkels was laag, wat voor hoge prijzen

zorgde. Dit patroon werd in de Verenigde Staten gedurende de eerste jaren van de 20ste eeuw doorbroken door de Great Atlantic & Pacific Tea Company. Dit bedrijf begon in 1859 in de theesector, maar verlegde eind de jaren 1800 zijn gezichtsveld naar de detailhandel. Hun economisch model was gebaseerd op een gestandaardiseerde winkel waar men merkproducten verkocht die geproduceerd werden in een A&P fabriek. A&P had de volledige supply chain, van productie over distributie tot verkoop in de winkels, in eigen handen. Verder installeerden ze een **cash & carry model**, hierbij betaalt de klant de goederen cash en zorgt hij zelf voor het transport. Voor de opkomst van A&P werd er vaak op krediet verkocht en werden goederen vaak thuis afgeleverd. Op basis van schaalvoordelen slaagde A&P erin om de producten goedkoper aan te bieden dan de zelfstandige verkopers. Natuurlijk was A&P niet het enige bedrijf die dit nieuwe **ketenmodel** toepaste, belangrijke concurrenten waren: Kroger, American Stores & Safeway. Hoewel het distributiesysteem dat deze bedrijven toepasten compleet nieuw was, zagen de winkels er ongeveer hetzelfde uit als voorheen. Er was nog steeds een winkelier die elke klant persoonlijk bediende. De kostenreductie vond dus voornamelijk plaatst op het niveau van het distributiesysteem en niet op het niveau van de winkels.

Geboorte van de supermarkt (1930-1950)

Gedurende de jaren 20 zorgde de industrialisatie ervoor dat steeds meer mensen zich in steden gingen vestigen (Charvat, 1961; Tedlow, 1990). Bovendien daalden de transportkosten door het verspreiden van auto's, aanleggen van nieuwe autowegen en uitbreiden van de spoorwegen. De opkomst van de frigo zorgde er ook voor dat men als consument grotere hoeveelheden in één keer kon kopen, waardoor men minder vaak naar de winkel moest. Tot slot maakten radio (en later televisie) het mogelijk om grootschalige marketingcampagnes te voeren voor nationale merken.

Michael Cullen was één van de eersten die de mogelijkheden van deze veranderingen voor de detailhandel zag. In 1930 onthulde Cullen zijn plan om een nieuwe keten met grote winkels, waarin het concept **zelfbediening** centraal zou staan, op te richten. Deze "superwinkels" zouden aan de rand van de stad gevestigd worden om te kunnen profiteren van de lage huurprijzen. Cullen's businessplan was gebaseerd op **lage marges en lage kosten**, met de bedoeling om winst te maken op basis van het grotere volume. Hierbij maakte hij gebruik

van de schaal- en scopevoordelen, die hij creëerde door met grotere winkels te werken. Een laatste belangrijk onderdeel van Cullen's plan was reclame. Via **grote reclamecampagnes** probeerde hij sterke nationale merken te ontwikkelen. Omdat de bestaande ketens (inclusief Cullen's werkgever Kroger) weigerachtig stonden tegenover Cullen's voorstel, besliste hij om zelf een nieuwe keten, King Kullen, op te richten. De eerste vestiging, die beschouwd wordt als de eerste echte supermarkt, opende op 14 augustus 1930 zijn deuren in New York City.

De eerste supermarkten waren echter vrij primitief en gevestigd in verouderde gebouwen. Maar door hun goedkope prijzen, die gemiddeld 13% lager waren dan deze van de bestaande ketens (Markin, 1968), slaagden ze erin om hun marktaandeel te vergroten. Opvallend was ook het feit dat King Kullen naast voedingswaren ook andere zaken zoals banden en stofzuigers verkocht. De verkoop steeg verder door de **uitvinding van de winkelkar** in 1937 door Sylvan Goldman. Mensen waren hierdoor geneigd om meer aan te kopen, omdat ze hun aankopen gemakkelijker konden transporteren met een winkelkar in plaats van een winkelmand.

De groei van de supermarkten raakte in een stroomversnelling na de Tweede Wereldoorlog. Terwijl het aantal voedingswinkels in de Verenigde Staten daalde van 400.000 winkels tot 162.000 winkels gedurende de periode 1935-1982 steeg het aantal supermarkten van 386 tot 26.640 (Tedlow, 1990). Bovendien steeg het aandeel van de supermarkten in de levensmiddelenverkoop van 3,2% tot 74,5% (Tedlow, 1990).

Introductie van het supermarktconcept in Europa

Eind de jaren 50 waaide het supermarktconcept over naar Europa. De eerste Europese supermarkt, een vestiging van Delhaize, werd op 18 december 1957 geopend op het Flageyplein in Brussel (Collet *et al.*, 2003). Het nieuwe concept werd door de klanten eerst met argwaan onthaald, maar gaandeweg leerde men de voordelen van een supermarkt kennen. De nieuwe supermarkten schoten dan ook als paddenstoelen uit de grond. In 1958 opende GB bijvoorbeeld zijn eerste supermarkt op het Antwerpse Luchtbal (Coupain & Jaumain, 2005).

In de jaren 60 deden de **hypermarkten** echter hun intrede in Europa via Frankrijk (Coupain & Jaumain, 2005). De eerste hypermarkt werd in 1963 geopend in Sainte-Geneviève-des-Bois. De hypermarkten kenden gedurende de jaren 60 en 70 een duidelijke groei en vormden dan ook een bedreiging voor de supermarkten. Supermarkten hebben echter een aantal voordelen

ten opzichte van hypermarkten. Ten eerste zorgt de wet op de handelsvestigingen ervoor dat zeer grote warenhuizen (hypermarkten) zich niet eender waar kunnen vestigen. Ten tweede zijn supermarkten beter geschikt om de vraag van nieuwe woonwijken en groeiende voorsteden te vervullen. Tot slot is de supermarkt een concept dat binnen het bereik van de meeste middelgrote zelfstandige detailhandelaars ligt. Voor het oprichten en uitbaten van een hypermarkt is een veel groter budget nodig.

Tijdens de jaren 70 kwam de concurrentie van de **discounters** hier nog bij. Het discountconcept ontstond gedurende de jaren 50 in Amerika, deed zijn intrede in Europa via Duitsland tijdens de jaren 60 en halfweg de jaren 70 vestigden (buitenlandse) discounters, zoals het Duitse Aldi, zich ook in België. Door de concurrentie van hypermarkten en discounters waren de supermarkten verplicht om zich aan te passen. Ze probeerden zich te differentiëren door bijvoorbeeld een duurder gamma aan te bieden, zich te integreren in een winkelcentrum, de informatie over de producten te verbeteren, hun assortiment uit te breiden met eigen merken, kant-en-klare producten aan te bieden,... Deze evolutie wordt vaak benaderd als de “**supermarkten van de tweede generatie**”. Het duurde tot de jaren 80 en 90 vooraleer het supermarktconcept volledig ingeburgerd was in de Europese cultuur.

A.3 De belangrijkste retailtrends

Deze sectie heeft als doel enkele van de belangrijkste huidige en toekomstige retailtrends bloot te leggen. Zo krijgt de lezer een inzicht in de zaken die de retailsector momenteel beheersen en in de ontwikkelingen die het toekomstig retailschap zullen bepalen. Hieronder volgt een selectie van trends die gerapporteerd werden door Deloitte (Deloitte, 2015), PwC (PwC, 2007) en Axis Communications (Axis Communications, 2014).

Integratie van online en offline

Enkele decennia geleden was er nog geen sprake van online retail en de echte opmars van de zogenaamde *webshops* vond pas in het laatste decennium plaats. Men is er ook lang vanuit gegaan dat beide systemen (online en offline verkoop) naast elkaar zouden blijven bestaan en met elkaar zouden concurreren. De laatste jaren is echter het besef gegroeid dat de integratie van beide systemen wel eens de optimale manier zou kunnen zijn om aan alle

wensen van de klant te voldoen. De belangrijkste drijfveren van deze evolutie zijn enerzijds het **groeïende gebruik van smartphones & tablets** en anderzijds de **fusie van online en offline werelden in het algemeen**, zowel in het privéleven als op professioneel vlak. Ook het **veranderde koopgedrag van de consument** speelt een rol. Deze verlangt immers steeds meer comfort, flexibiliteit en individueel advies bij zijn aankopen, maar wil bovendien tijd besparen. Starbucks is één van de bedrijven die op een doeltreffende wijze gebruik maakt van de voordelen die online en offline systemen bieden. Een voorbeeld hiervan zijn de verschillende betaalsystemen die bij Starbucks gebruikt kunnen worden. Naast de traditionele betaalsystemen (cash of met de bankkaart), kan men ook betalen met een getrouwheidskaart en met de smartphone. Via de Starbucks app kan men bovendien reeds op voorhand een koffie bestellen, zodat men niet in de rij moet staan wachten.

Kleinere winkels en groter online aanbod

Verschillende studies, o.a. een studie uitgevoerd door PwC (2007), tonen aan dat er een trend is van winkels met een kleiner winkeloppervlak, maar een grotere klant nabijheid. Tegelijkertijd stijgt het online aanbod (en dus de concurrentie voor de fysieke winkels). Volgens de studie van PwC is er momenteel een **trend aan de gang waarbij alles kleiner wordt**: kleinere verpakkingen, kleinere winkels, kleinere woonplaatsen, ... Deze trend wordt gedreven door een groter wordende aandacht voor **duurzaamheid**. Het feit dat de consument een vrijwel onbeperkte keuze aan kanalen heeft (zowel online als offline) om zijn aankopen te doen, zal er volgens PwC voor zorgen dat winkels kleiner worden en zich meer op nichemarkten zullen richten. Hierbij is het wel belangrijk om op te merken dat deze trend niet geldt voor de grote hyper- en supermarkten van deze wereld. Er zal, volgens PwC, altijd een deel van de consumenten prefereren om zijn aankopen in één grote winkel te doen (one-stop shopping).

Focus op gepersonaliseerde winkelervaring

Retailers moeten hun klanten zeer goed kennen om de gewenste koopervaring te kunnen aanbieden. De beschikbare technologieën om relevante data te verzamelen zorgen ervoor dat retailers, veel meer dan vroeger, in staat zijn om de wensen en noden van de klant te voorspellen en er op in te spelen. **Klanten zijn bovendien veeleisender geworden dan vroeger**. Ze verwachten op maat gesneden informatie en dus moet de winkelervaring aan

geslacht, leeftijd, (online) koopgedrag, ... worden aangepast. Het toepassen van digitale media op het gebied van vormgeving, service en advies kan hierbij een enorme hulpbron zijn. Niet in alle subsectoren binnen de retail is een gepersonaliseerde winkelervaring even gemakkelijk te implementeren. De kledingsector leent zich hier bijvoorbeeld beter toe dan de hypermarktsector. Een voorbeeld van een bedrijf dat sterk inspeelt op de gepersonaliseerde winkelervaring is Amazon.com. Op basis van het (online) gedrag van de klant worden bepaalde boeken gesuggereerd die aanleunen bij de interesses van de klant. Deze suggesties verschillen van klant tot klant. Zo helpt Amazon.com haar klanten bij de zoektocht naar een nieuw boek.

Een andere manier om in te spelen op de wensen van de consument, is het **betrekken van de consument in een vroeger stadium van de supply chain**. De retailer kan bijvoorbeeld consumenten raadplegen tijdens de Onderzoeks- en Ontwikkelingsfase. Zo is men zeker dat het (nieuwe) product zal voldoen aan de wensen van de klant. Klanten kunnen ook betrokken worden in het productieproces, op die manier kunnen ze zelf meebepalen hoe hun gepersonaliseerde eindproduct er zal uitzien.

Retailers moeten er rekening mee houden dat de klant momenteel in een veel machtigere positie staat dan vroeger. Door de ontwikkeling van technologie beschikt de consument over veel meer informatie. Hierdoor is de klant in staat om bepaalde eisen te stellen: ze willen een bepaald product kunnen kopen op een bepaalde plaats en meestal willen ze zelfs nog beslissen hoeveel ze ervoor moeten betalen. Wanneer de retailer niet aan deze eisen kan/wil voldoen gaat men gewoon naar de concurrentie. De meest succesvolle retailers zijn dus de retailers die het best kunnen inspelen op de wensen van hun klant.

Belang van sociale netwerken

Het belang van sociale netwerken binnen de retail mag niet onderschat worden en zal in de komende jaren zeker nog toenemen. Klanten delen hun ervaringen via sociale media. Bovendien doen ze vaak beroep op hun sociale netwerk om **koopadvies** te vragen. Opkomende technologieën zorgen ervoor dat anderen via sociale media de winkelervaring real-time kunnen meevolgen en dus ook beïnvloeden. Veel retailers proberen om de sociale media te gebruiken om hun doelen te bereiken. Zo kunnen sociale media bijvoorbeeld zeer belangrijk zijn om een merk op te bouwen en de reputatie van een merk hoog te houden.

Belang van technologie en innovatie

Het belang van (nieuwe) technologie en innovatie binnen de retailsector wordt duidelijk aangetoond door de verschillende transformaties (opkomst online retailing, gepersonaliseerde winkelervaring, . . .) die momenteel plaats vinden. De meeste grote retailers, zoals Wal-Mart, Amazon.com en The Home Depot, hebben dit begrepen en investeren dan ook grote bedragen in hun eigen innovatielaboratoria. Er bestaat echter geen succesformule die voor alle retailers werkt. Iedere retailer moet zelf bepalen hoe hij technologie op een innovatieve manier kan gebruiken en zich kan differentiëren van de rest. Veel hangt ook af van de beschikbare resources en competenties binnen het bedrijf.

Technologische innovaties volgen elkaar sneller op dan ooit. Eén van de technologieën die momenteel razend snel aan het ontwikkelen is en in de (nabije) toekomst een grote invloed zal hebben op de retailsector is *Internet of things*. De term Internet of things werd in 1999 voor het eerst gebruikt door de Brit Kevin Ashton, die op dat moment voor het Massachusetts Institute of Technology werkte en onderzoek rond RFID uitvoerde (Van Leeuwen, R., 2013). De laatste jaren werd de term een echt *buzz word*. Eénvoudig gesteld, is Internet of things een concept waarbij verschillende apparaten met elkaar in contact staan en interageren. Eén van de toepassingen hiervan is de “slimme frigo”. Hierbij registreert de frigo zelf welke producten er op zijn en dus besteld moeten worden in de winkel. Deze bestelling wordt dan aan huis geleverd. Het enige wat de consument nog moet doen, is de producten in de frigo zetten. De lezer die meer wil weten over “Internet of things” en de mogelijkheden ervan, wordt doorverwezen naar de literatuur¹.

Ook het gebruik van *Big Data*² zal de komende jaren een grote invloed hebben op de bedrijfswereld in het algemeen en de retailsector in het bijzonder. Uit onderzoek van de

¹Enkele interessante papers zijn: Internet of things: Vision, applications and research challenges (Mirandi *et al.*, 2012) en Internet of Things: Applications and Challenges in Technology and Standardization (Bandyopadhyay & Sen, 2011).

²Er bestaat wat onenigheid rond de definitie van Big Data. Een duidelijke en vrij volledige definitie kreeg ik te horen tijdens een presentatie van Accenture (30/11/2015). Vrij vertaald uit het Engels: Big Data is data die de verwerkingscapaciteit van conventionele databasesystemen overstijgt. De data is te groot, te onbetrouwbaar, komt te snel binnen of stemt niet overeen met de structuren van traditionele Business Intelligence architecturen. Om waarde uit deze data te halen, moet je een alternatieve manier kiezen om ze te verwerken.

universiteit van Texas (Barua *et al.*, 2012) blijkt dat meer bruikbare data de productiviteit van de werknemers het meest doet stijgen in de retailsector. Wanneer de bruikbare data met 10% zou stijgen, dan zou de productiviteit (verkopen per werknemer) binnen de retailsector met 49% verbeteren. Hiermee presteert de retailsector heel wat beter dan andere sectoren zoals de consultingsector (39%), de staalindustrie (20%) en telecommunicatie (17%). Deze cijfers tonen duidelijk aan dat Big Data heel wat potentieel biedt voor retailbedrijven.

Retailers moeten focussen op profit, people & planet

Vroeger konden retailers zich uitsluitend focussen op het maken van winst. *Profit* realiseren is uiteraard nog steeds zeer belangrijk, maar vandaag moeten ze ook aandacht hebben voor twee andere p's: *people & planet*. Het bedrijfssucces van een retailer hangt niet enkel meer af van financiële performantie, maar ook van de performantie op thema's als leefmilieu en sociale context. Deze trend zorgt ervoor dat retailers rekening moeten houden met heel wat stakeholders: klanten, werknemers, leveranciers, investeerders, regulatoren (o.a. de overheid), de maatschappij in het algemeen, . . . Het is van groot belang dat retailers zich hier van bewust zijn en hun strategie & gedrag aan aanpassen. Retailers die deze trend naast zich neerleggen, zouden wel eens voor verrassingen kunnen komen te staan.

Bijlage B

Stappen 1 en 2 van het personeelsplanningsproces

In deze bijlage worden stap 1: **Voorspel de vraag** (sectie B.1) en stap 2: **Voorspelde vraag omzetten in werknemersbehoefte** (sectie B.2) van het personeelsplanningsproces besproken.

B.1 Stap 1: Voorspel de vraag

Voorspellingsmethodes hebben voor (bijna) alle ondernemingen een grote waarde. Vooral het **kunnen voorspellen van de vraag is belangrijk voor vele ondernemingen**. Deze vraag zal immers het aanbod, dat de onderneming ter beschikking moet stellen, bepalen. In de (offline) retailsector wordt deze vraag bovendien weerspiegeld door een fysieke klant die naar de winkel komt. Een goede inschatting kunnen maken van hoeveel klanten er op een bepaald moment zullen komen, is dan ook zeer belangrijk wanneer men een passende personeelsplanning wil opstellen. **Voorspellingen kunnen echter nooit de werkelijkheid perfect weerspiegelen**. Bepaalde factoren die op een directe of indirecte manier een rol spelen, kunnen niet met 100% zekerheid voorspeld worden. Daarom moet gezocht worden naar de voorspellingsmethode die de werkelijkheid het best benadert en die bovendien robuust is tegen veranderingen die in de praktijk kunnen optreden.

Deze sectie is hoofdzakelijk gebaseerd op hoofdstuk 3 uit het boek *Operations Management* (Stevenson, 2011). We beginnen met het geven van een opsomming van een aantal **eigenschappen die alle voorspellingsmethodes gemeenschappelijk hebben** (sectie B.1.1). Kennisname van deze eigenschappen verschaft de gebruiker elementaire inzichten over de toepassingsmogelijkheden en beperkingen van voorspellingsmethodes. Vervolgens worden de **kenmerken van een goede voorspelling** besproken (sectie B.1.2). Eén van deze kenmerken is een goede **accuraatheid van de voorspelling**. Het bepalen van deze accurateid wordt in een aparte sectie (sectie B.1.3) in detail uitgelegd. Hierna behandelen we **de zes typische stappen die tijdens het voorspellingsproces doorlopen worden** (sectie B.1.4). Tot slot geven we een **overzicht van de beschikbare voorspellingstechnieken** (sectie B.1.5) en geven we enkele **tips om de meest geschikte voorspellingstechniek te kiezen** (sectie B.1.6).

B.1.1 Eigenschappen voorspellingsmethodes

Voorspellingsmethodes vertonen onderling heel wat verschillen, maar er zijn ook gelijkenissen. Het is belangrijk om deze gemeenschappelijke eigenschappen te kennen wanneer men gebruik maakt van voorspellingsmethodes. Hieronder worden ze opgesomd:

1. Voorspellingstechnieken veronderstellen dat het causale systeem dat van toepassing was in het verleden ook zal optreden in de toekomst.
2. Voorspellingen zijn niet perfect. De actuele resultaten verschillen meestal van de voorspelde waarden. *Randomness* (willekeurigheid) verhindert immers een perfecte voorspelling. Daarom moet een beslissing genomen worden over de mate waarin voorspellingsfouten toelaatbaar zijn.
3. Voorspellingen voor groepen variabelen zijn meestal accurater dan voorspellingen voor een individuele variabele. De voorspellingsfouten van een groep variabelen doen elkaar immers (gedeeltelijk) teniet.
4. Hoe langer de periode die voorspeld moet worden, hoe lager de accurateid. De reden hiervoor is dat er bij de voorspelling van een korte, nabije periode minder onzekerheden zijn dan bij de voorspelling van een langere periode.

B.1.2 Wat is een goede voorspelling?

Een goede voorspelling moet voldoen aan een aantal vereisten. Hieronder volgt een overzicht.

1. De voorspelling moet rekening houden met het **tijdsaspect**. Afhankelijk van wat men wil voorspellen moet de lengte van de voorspellingsperiode aangepast worden. Hierbij moet men ook rekening houden met het feit dat er meestal een bepaalde reactietijd nodig is om te reageren op de informatie uit de voorspelling. Voorbeelden hiervan zijn: capaciteit uitbreiden vraagt tijd, voorraadniveaus kunnen niet onmiddellijk aangepast worden, ...
2. De voorspelling moet **accuraat** zijn en er moet een maatstaf vastgelegd worden om de accuraatheid te meten. Hierdoor weet de gebruiker welke voorspellingsfouten er mogelijk zijn en kunnen verschillende voorspellingen met elkaar vergeleken worden.
3. De voorspelling moet **betrouwbaar** en **consistent** zijn. Een voorspellingstechniek die soms een goede voorspelling, maar soms ook een slechte voorspelling oplevert, is niet betrouwbaar. De gebruiker zal geen vertrouwen hebben in dit systeem en er moet dan gezocht worden naar een betrouwbaarder alternatief.
4. De voorspelling moet uitgedrukt worden in **betekenisvolle eenheden**. De voorspelling van toekomstige verkopen gebeurt het best in euro's, terwijl de voorspelling van het voorraadniveau dan weer best in eenheden van het product wordt uitgedrukt. De meest relevante eenheid hangt dus af van de toepassing waarvoor de voorspellingsmethode gebruikt wordt.
5. De gebruikte voorspellingsmethode moet **éénvoudig zijn om te verstaan en te gebruiken**. Gebruikers hebben immers een gebrek aan vertrouwen in gesofisticeerde voorspellingstechnieken die ze niet begrijpen. Bovendien is de kans op verkeerd gebruik van een techniek reëel wanneer de gebruiker de techniek niet goed onder de knie heeft. Aangezien de gebruikers zich comfortabeler voelen om met éénvoudige voorspellingstechnieken te werken, worden deze technieken dan ook het meest gebruikt in de praktijk.
6. De **opbrengsten** van de voorspelling moeten de **kosten** ervan overtreffen. De opbrengsten hangen af van de kwaliteit van de voorspelling, kosten bestaan hoofdzakelijk uit de

benodigde tijd om de voorspelling uit te voeren en de gebruikte *resources* (middelen).

B.1.3 Accuraatheid van een voorspelling

Naast de kost zal de accuraatheid van een bepaalde voorspellingstechniek cruciaal zijn bij de keuze tussen verschillende technieken. Om de accuraatheid te kunnen vergelijken, is er natuurlijk een gemeenschappelijke maatstaf nodig. De meest éénvoudige maatstaf die hiervoor gebruikt kan worden, is de **voorspellingsfout**. Vergelijking B.1 geeft de berekening van de voorspellingsfout weer. De voorspellingsfout (f) is het verschil tussen de actuele waarde (A) en de voorspelde waarde (V).

$$f_t = A_t - V_t \quad (\text{B.1})$$

waarbij t = een bepaalde tijdsperiode.

Deze voorspellingsfout kan echter enkel gebruikt worden om één voorspelde waarde te vergelijken met één werkelijke waarde. Wanneer men de accuraatheid van een volledige voorspelling wil onderzoeken, moet men gebruik maken van andere maatstaven. De meest gebruikte zijn **mean absolute deviation (MAD)**, **mean squared error (MSE)** en **mean absolute percent error (MAPE)**¹. Hieronder werd de berekeningswijze van deze drie maatstaven opgenomen. De vergelijkingen (B.2, B.3 en B.4) tonen duidelijk dat ze alle drie gebaseerd zijn op de voorspellingsfout.

$$MAD = \frac{\sum |ActueleWaarde_t - VoorspeldeWaarde_t|}{n} \quad (\text{B.2})$$

$$MSE = \frac{\sum (ActueleWaarde_t - VoorspeldeWaarde_t)^2}{n - 1} \quad (\text{B.3})$$

$$MAPE = \frac{\sum \frac{|ActueleWaarde_t - VoorspeldeWaarde_t|}{ActueleWaarde_t} \times 100}{n} \quad (\text{B.4})$$

waarbij n = het aantal voorspellingen.

¹We hebben deze maatstaven onvertaald uit het Engels overgenomen aangezien deze reeds ingeburgerd zijn in de Nederlandstalige literatuur.

Hierna volgt een **praktisch voorbeeld** uit de retailsector om de berekening van deze maatstaven te verduidelijken. Veronderstel dat je het aantal verkochte broden per dag in een bakkerij wil voorspellen zodat de bakker weet hoeveel broden hij moet maken. Je kiest een bepaalde voorspellingstechniek en past deze toe. Vervolgens wijzigt de bakker zijn aanbod op basis van de voorspellingen. Natuurlijk wil hij achteraf weten of hij er goed aan gedaan heeft om de voorspelling te volgen (accuraatheid van de voorspelling moet getest worden). Tabel B.1 geeft een overzicht van de werkelijke waarden en de voorspelde waarden gedurende een week. Er zijn ook een aantal tussenberekeningen in opgenomen zodat MAD, MSE en MAPE onmiddellijk berekend kunnen worden.

Dag	Actuele Waarde	Voorspelde Waarde	Fout (A - F)	Fout	Fout ²	[Fout : Actuele Waarde] X 100
1	245	252	-7	7	49	2,86%
2	257	256	1	1	1	0,39%
3	247	249	-2	2	4	0,81%
4	262	258	4	4	16	1,53%
5	252	260	-8	8	64	3,17%
6	256	255	1	1	1	0,39%
7	250	251	-1	1	1	0,40%
Som			-12	24	136	9,55%

Tabel B.1: Tussenberekeningen om MAD, MSE en MAPE te bepalen

$$MAD = \frac{\sum |Fout|}{n} = \frac{24}{7} = 3,43$$

$$MSE = \frac{\sum Fout^2}{n-1} = \frac{136}{7-1} = 22,67$$

$$MAPE = \frac{\sum \left(\frac{|Fout|}{ActueleWaarde} \times 100 \right)}{n} = \frac{9,55\%}{7} = 1,36\%$$

waarbij n = het aantal voorspellingen.

Deze maatstaven kunnen op verschillende manieren gebruikt worden. Ten eerste kunnen ze gebruikt worden om de **accuraatheid van verschillende voorspellingsmethodes te vergelijken**. De voorspellingsmethode met de laagste MAD, MSE en/of MAPE wordt beschouwd als de meeste accurate. Ten tweede kunnen ze gebruikt worden om de **evolutie van de voorspellingsfout over de tijd** weer te geven. Wanneer de voorspellingsfouten

groter worden naarmate de tijd vordert, wil dit zeggen dat er iets schort met de gebruikte voorspellingsmethode. De resultaten zijn minder accuraat dan vroeger.

Bij het maken van een keuze tussen MAD, MSE en MAPE is het belangrijk dat men rekening houdt met de **voor- en nadelen** van deze drie maatstaven. MAD is de gemakkelijkste om te berekenen, maar geeft aan elke fout een gelijk gewicht (onafhankelijk van de grootte van de fout). MSE kwadrateert de fouten, hierdoor wordt er een groter gewicht gegeven aan grote fouten. Dit kan tot een vertekend beeld leiden. Het voorbeeld van de bakker toont dit duidelijk aan. De voorspellingen waren telkens vrij accuraat behalve voor twee dagen. Op dag 1 was de voorspelde waarde zeven eenheden te hoog, op dag 5 acht eenheden. Doordat MSE gebruik maakt van de gekwadrateerde fout, hebben de fouten van deze twee dagen een grotere invloed dan de fouten van de andere dagen. Hierdoor is de MSE in het voorbeeld vrij hoog in vergelijking met de MAD en MAPE. Wanneer het belangrijk is om fouten in perspectief te plaatsen, is MAPE de aangewezen methode. Een voorbeeldje maakt dit duidelijk: een voorspellingsfout van 10 eenheden wanneer de werkelijke waarde 15 eenheden was, is een grote voorspellingsfout. Diezelfde voorspellingsfout van 10 eenheden voor een werkelijke waarde van 10 000 eenheden, is een kleine voorspellingsfout. De MAPE zal in het eerste geval dan ook veel hoger zijn dan in het tweede geval.

B.1.4 Stappen in het voorspellingsproces

Het voorspellingsproces bestaat meestal uit een zestal stappen. Deze worden hierna opgesomd en waar nodig wordt wat extra uitleg gegeven.

1. **Bepaal het doel van de voorspelling.** Deze stap is zeer belangrijk. Een actie die ondernomen wordt zonder een doel voor ogen te hebben, is gedoemd om te mislukken. Vooraleer men een geschikte voorspellingstechniek kan zoeken, moet er een antwoord geformuleerd op volgende vragen: Hoe zal de voorspelling gebruikt worden? Wie zal de voorspelling gebruiken? Tegen wanneer heeft men de voorspelling nodig? De antwoorden op deze vragen zullen een indicatie zijn voor het benodigde detailniveau van de voorspelling, het aantal resources (personeel, computertijd, geld, ...) dat nodig is om de voorspelling uit te voeren en het benodigde accuraatheidsniveau.

2. **Bepaal de tijdshorizon van de voorspelling.** Op basis van het doel van de voorspelling moet nu een tijdshorizon vastgelegd worden. Deze bepaalt hoe ver in de tijd voorspellingen gedaan moeten worden. Zoals eerder gezegd moet hierbij rekening gehouden worden met het feit dat de accuraatheid van de voorspelling daalt naarmate de tijdshorizon langer wordt.
3. **Verkrijgen, opkuisen en analyseren van de geschikte data.** Het bijeenbrengen van de data die nodig zijn voor het uitvoeren van de voorspelling kan een grote inspanning met zich meebrengen. Data zijn niet altijd zomaar beschikbaar en soms moet men dus wat moeite doen om ze te verkrijgen. Eénmaal de data vergaard zijn, moeten ze opgekuist worden. Hierbij kijkt men typisch naar de extreme waarden en verwijdert men deze waar nodig. Ook waarden die duidelijk fout zijn, worden aangepast of verwijderd. Hierna kunnen de data geanalyseerd worden. Tijdens deze analyse kan bijvoorbeeld een bepaalde trend in de data gevonden worden. Een goede analyse is belangrijk bij het kiezen van de geschikte voorspellingstechniek (zie volgende stap).
4. **Kies de meest adequate voorspellingstechniek.** In deze stap moet op basis van alle beschikbare data en de analyse ervan een voorspellingstechniek gekozen worden. Meestal kiest men enkele voorspellingstechnieken waarvan de resultaten dan met elkaar vergeleken worden. Op de beschikbare voorspellingstechnieken en het kiezen van de beste voorspellingstechniek wordt in een aparte secties (*Overzicht van de beschikbare voorspellingsmethodes* en *Hoe kies ik de geschikte voorspellingsmethode?*) verder ingegaan.
5. **Maak de voorspelling.** Nadat één of meerdere voorspellingstechnieken gekozen werden, moeten deze uitgevoerd worden. Typisch worden hiervoor bepaalde softwareprogramma's (bv. Excel) gebruikt.
6. **Bestudeer de voorspelling.** De voorspelling moet grondig onderzocht worden zodat bepaald kan worden of de performantie ervan voldoet aan de verwachtingen. Wanneer dit niet het geval is, moeten de gebruikte methode, assumpties, data, ... van naderbij bekeken en aangepast worden. Nadat dit gebeurd is, moet de voorspelling opnieuw uitgevoerd worden.

Wanneer de voorspellingen op punt staan, is het belangrijk dat men actie onderneemt op basis van deze voorspellingen (Stevenson, 2011). Men moet bijvoorbeeld het aanbod aanpassen aan de verwachte vraag. Natuurlijk mag men niet blindelings vertrouwen op de voorspellingen en moet men deze kritisch benaderen (Wong *et al.*, 2004). Goede voorspellingen kunnen een belangrijk concurrentieel voordeel bieden. Ze doen bovendien vaak dienst als input voor bepaalde processen (vb. opstellen van de personeelsplanning). Daarom is het belangrijk dat bedrijven voldoende tijd besteden aan het opstellen en onderhouden van goede voorspellings technieken (Wong *et al.*, 2004).

B.1.5 Overzicht van de beschikbare voorspellingsmethodes

In deze sectie zullen we proberen om op een gestructureerde manier een overzicht te geven van de beschikbare voorspellingsmethodes. Dit overzicht zal vrij algemeen zijn. Het is niet de bedoeling om iedere voorspellingsmethode grondig te bespreken. De lezer die hier meer informatie over wenst, wordt doorverwezen naar de relevante literatuur. In hoofdstuk 3 van het boek *Operations Management* (Stevenson, 2011) worden de verschillende technieken vrij uitgebreid besproken. Er worden bovendien een aantal verduidelijkende voorbeelden gebruikt. Verder zijn er nog heel wat andere boeken die voorspellingsmethodes uitgebreid bespreken, ook online is er heel wat informatie over dit onderwerp te vinden.

Voorspellingsmethodes worden meestal opgesplitst in **kwalitatieve** en **kwantitatieve** voorspellingsmethodes. Kwalitatieve methodes zijn meestal gebaseerd op *subjectieve* input, kwantitatieve methodes doen een beroep op *objectieve* data. Kwalitatieve methodes laten het gebruik van *zachte* informatie (persoonlijke meningen, een bepaald voor gevoel, ...) toe. In kwantitatieve methodes wordt dit soort informatie meestal niet gebruikt omdat ze moeilijk te kwantificeren is. Kwantitatieve methodes zijn gebaseerd op *harde* data, meestal wordt één van de volgende twee werkwijzen gebruikt: 1) Maak je voorspelling op basis van de geprojecteerde data uit het verleden 2) Maak je voorspelling op basis van een associatief model waarbij gezocht wordt naar de causale, verklarende variabelen.

Voorspellingsmethodes kunnen ook ingedeeld worden in één van volgende categorieën: **judgmental (bevooroordeelde) voorspellingen, tijdreeks voorspellingen en associatieve voorspellingen**. De *judgmental* voorspelling is een kwalitatieve methode, tijdreeks

voorspelling en associatieve voorspelling zijn kwantitatieve methodes. In de volgende paragrafen worden deze drie categorieën besproken en worden er voorbeelden gegeven van concrete voorspellingstechnieken.

Judgmental (bevooroordeelde) voorspellingen zijn gebaseerd op de analyse van subjectieve input die verworven kan worden via verschillende bronnen zoals de consument, personeel, managers & leidinggevenden, experts, . . . Deze bronnen kunnen vaak inzichten geven die niet beschikbaar zijn via objectieve data. Dit type voorspellingen wordt bijvoorbeeld gebruikt als het management snel een voorspelling wil en er dus niet genoeg tijd is om kwantitatieve data te verzamelen en te analyseren. In sommige situaties is de beschikbare kwantitatieve data niet up-to-date of zijn er geen historische data beschikbaar (zoals bij de introductie van een nieuw product) en doet men liever een beroep op een kwalitatieve voorspellingsmethode.

Een voorbeeld van een *judgmental* voorspellingstechniek is de **Delphimethode**. Dit is een iteratief proces waarbij meerdere experts (mensen die de nodige kennis hebben om een goede voorspelling te doen) betrokken zijn met de bedoeling om tot een voorspelling te komen waar alle experts het mee eens zijn. De experts moeten gedurende verschillende rondes vragenlijsten invullen. Na iedere ronde worden de antwoorden van de andere experts anoniem beschikbaar gesteld. Op basis van deze informatie kan de expert zijn mening eventueel aanpassen. Dit proces wordt herhaald tot er een consensus bereikt wordt. Vooral voor technologische voorspellingen wordt de Delphimethode vaak gebruikt. Bijvoorbeeld om te voorspellen wanneer een vaccin voor een bepaalde ziekte klaar zal zijn voor massaconsumptie. Dit is een voorbeeld waarbij het zeer moeilijk en duur is om de benodigde data voor een kwantitatieve methode te verzamelen. De Delphimethode is hier het ideale alternatief.

Tijdreeks voorspellingen. Een tijdreeks is een opeenvolging van observaties die op regelmatige tijdstippen (vb. ieder uur, dagelijks, wekelijks, . . .) genomen worden. Deze data kunnen betrekking hebben op de vraag, de verkochte goederen, de inkomsten, . . . Voorspellingsmethodes die gebaseerd zijn op tijdreeksen maken gebruik van de assumptie dat toekomstige waarden in de tijdreeks geschat kunnen worden op basis van waarden uit het verleden. Ondanks het feit dat er bij deze methodes niet geprobeerd wordt om de variabelen die invloed uitoefenen op de tijdreeks te identificeren, worden ze over heel de wereld frequent gebruikt en

zijn de resultaten vrij goed.

Bij de analyse van een tijdreeks wordt het onderliggende gedrag bestudeerd. Meestal gebeurt dit door de data te *plotten* en visueel te inspecteren. Een aantal patronen die kunnen optreden zijn: trends, seizoensvariatiës, cyclussen en variatiës rond een gemiddelde. Ook willekeurige en onregelmatige variatiës zijn mogelijk. Hieronder worden de verschillende patronen beschreven.

1. Een **trend** is een opwaartse of neerwaartse beweging van de data op lange termijn.
2. **Seizoensvariatiës** zijn korte termijn variatiës die op vaste tijdstippen terugkomen. Een voorbeeld hiervan is de aardbeienverkoop. Deze piekt in de periode april-september en is beduidend lager tijdens de winter (o.a. omdat aardbeien dan ingevoerd moeten worden uit andere landen).
3. **Cyclussen** zijn variatiës die de vorm hebben van een golf en meestal langer dan een jaar duren. Deze cyclussen herhalen zich doorheen de tijd.
4. **Onregelmatige variatiës** worden veroorzaakt door ongewone omstandigheden zoals strenge weersomstandigheden, een staking, . . . Indien mogelijk moeten deze variatiës uit de tijdreeks verwijderd worden. Ze zorgen immers voor een afwijking van het typische gedrag van de tijdreeks.
5. **Willekeurige variatie** is de variatie die overblijft nadat al de andere patronen in rekening genomen zijn. Willekeurige variatie treedt op in ieder proces.

Het opsporen van deze patronen is zeer belangrijk voor het kiezen van de juiste voorspellings-techniek. Bepaalde technieken zijn immers beter geschikt voor een tijdreeks waar bijvoorbeeld een trend in zit dan andere. Hierna volgt een lijst van een aantal voorspellingstechnieken die in de praktijk vaak gebruikt worden om voorspellingen te doen op basis van een tijdreeks (Stevenson, 2011). Deze lijst is niet exhaustief en de verschillende voorspellingstechnieken zullen ook niet in detail besproken worden. De geïnteresseerde lezer wordt doorverwezen naar de literatuur. Hoofdstuk 3 uit het boek *Operations Management* van Stevenson (2011) en hoofdstuk 27 uit het boek *Introduction to Operations Research* van Hillier & Liebermann (2010) vormen een interessant startpunt. Hiernaast is er heel wat academisch, maar ook meer op de praktijk gericht werk beschikbaar. Er zijn ook heel wat softwaretools op de markt die het maken van voorspellingen vergemakkelijken (Bv. ForecastingPro, Professional Planner, . . .).

- Moving average
- Weighted moving average
- Exponential smoothing
- Trend-adjusted exponential smoothing
- Trend-seasonal exponential smoothing
- Trend equation
- Focus forecasting
- Diffusion models

Associatieve voorspellingen. Associatieve voorspellingstechnieken zijn gebaseerd op het vinden van variabelen die gebruikt kunnen worden om de variabele waarin men geïnteresseerd is te voorspellen. De meest gebruikte techniek is **regressieanalyse**. Hierbij wordt een vergelijking opgesteld die de invloed van de voorspellende variabelen op de te voorspellen variabele weergeeft. We zullen de werkwijze van een regressieanalyse verduidelijken aan de hand van een éénvoudig voorbeeld uit de retailsector², waarbij gebruik gemaakt wordt van lineaire regressie. Stel dat je een Belgische retailer bent die de verkoop van varkensvlees in België wil voorspellen met bedoeling om uw aanbod zo goed mogelijk op de vraag af te stellen. Eén van de variabelen die hier een invloed op zal uitoefenen is de prijs van het varkensvlees. Op basis van de economische theorie over vraag en aanbod verwachten we een negatief verband tussen beide variabelen i.e. wanneer de prijs stijgt zal de verkochte hoeveelheid dalen en vice versa (Gujarati & Porter, 2009). De te voorspellen variabele wordt de **afhankelijke variabele** genoemd. In ons voorbeeld is dit de verkochte hoeveelheid varkensvlees. De variabelen die een voorspellende kracht bezitten, worden de **onafhankelijke variabelen** genoemd. In ons voorbeeld is dit de prijs van het varkensvlees.

Vervolgens moeten historische data opgezocht worden over de verkochte hoeveelheid varkensvlees en de bijbehorende prijs. Veronderstel dat deze data weergegeven worden in figuur B.1. Het doel van een lineaire regressie is om een vergelijking van een rechte lijn te bekomen waarbij de som van de gekwadrateerde verticale afwijkingen tussen de data en de lijn geminimaliseerd wordt (**kleinstekwadratenmethode**). Op basis van deze vergelijking kunnen dan voorspellingen voor de toekomst gedaan worden.

²Dit voorbeeld hebben we zelf opgesteld op basis van fictieve data en dient enkel om de principes van een regressieanalyse aan te tonen.

Vergelijking B.5 is de basisvergelijking voor een lineaire regressie³.

$$y = a + bx \quad (\text{B.5})$$

waarbij

y = Voorspelde (afhankelijke) variabele, in het vb. is dit de verkochte hoeveelheid varkensvlees

x = Voorspellende (onafhankelijke) variabele, in het vb. is dit de prijs van het varkensvlees

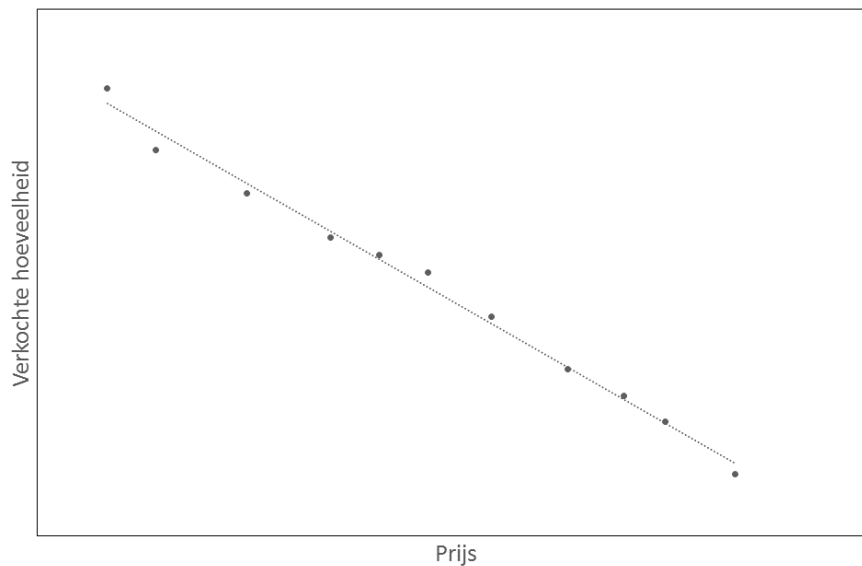
b = Hellingsgraad van de rechte

a = Waarde van y wanneer x = 0 (Dit is het snijpunt van de rechte met de y-as)

Veronderstel dat ons voorbeeld volgende vergelijking oplevert:

$$y = 1000 - 5x$$

In ons voorbeeld is a = 1000, dit wil zeggen dat in het hypothetische geval van een prijs = 0 de verkochte hoeveelheid varkensvlees duizend eenheden zal bedragen. Coëfficiënt b = -5, dit wil zeggen dat wanneer de prijs met één eenheid stijgt de verkochte hoeveelheid met 5 eenheden zal dalen.



Figuur B.1: Data met regressielijn

³De berekening van de coëfficiënten a en b worden hier niet opgenomen. De lezer die hier meer informatie over wenst, wordt doorverwezen naar hoofdstuk 3 van het boek *Operations Management* (Stevenson, 2011).

In de realiteit is er natuurlijk meer dan één onafhankelijke variabele die een invloed uitoefent op de afhankelijke variabele. De studie van de invloed van meerdere onafhankelijke variabelen op een afhankelijke variabele wordt **multivariate regressie** genoemd. Verbanden tussen twee variabelen zijn bovendien niet altijd lineair. Daarom bestaat er ook **niet-lineaire regressie**. Tot slot is het bij het interpreteren van de resultaten van de regressieanalyse belangrijk dat er getest wordt of de invloeden van de onafhankelijke variabelen **significant verschillend zijn van 0** (niet alle geteste variabelen zullen immers een significante invloed hebben op de afhankelijke variabele). De lezer die extra informatie wil omtrent regressieanalyses wordt doorverwezen naar de literatuur. In *Basic Econometrics* (Gujarati & Porter, 2009) wordt regressieanalyse zeer uitgebreid beschreven.

B.1.6 Hoe kies ik de geschikte voorspellingsmethode?

Uit voorgaande sectie blijkt dat er heel wat verschillende voorspellingsmethodes beschikbaar zijn. Eén van deze methodes kiezen om toe te passen in jouw concrete situatie is niet gemakkelijk. Er is immers geen enkele techniek die het best werkt in elke situatie. Hierna zullen we een aantal factoren overlopen die van belang zijn bij het kiezen van een voorspellingsmethode.

De twee belangrijkste factoren zijn **kost** en **accuraatheid**. In het algemeen kan men zeggen: hoe hoger de accurateid, hoe hoger de kost zal zijn. In de praktijk zal er dus een *trade-off* gemaakt moeten worden. Andere belangrijke factoren zijn: **de beschikbaarheid van historische data, de beschikbaarheid van computersoftware en de benodigde tijd om data te verzamelen & te analyseren**. Wanneer de beschikbare tijd beperkt is, zal men een beroep moeten doen op kwalitatieve methodes aangezien kwantitatieve methodes meestal meer tijd vergen. Ook als er geen historische data beschikbaar zijn of als men niet beschikt over de juiste computersoftware om kwantitatieve analyses uit te voeren, zal men kwalitatieve methodes moeten gebruiken. Voorts is de **tijdshorizon van de voorspelling** belangrijk. Bepaalde technieken zoals *moving average* en *exponential smoothing* zijn beter geschikt voor voorspellingen op korte termijn. Andere technieken zoals *trend equation* kunnen gebruikt worden voor voorspellingen op langere termijn. Tot slot is het bij het gebruik van tijdreeksdata aangewezen om de data te *plotten*. Dit helpt bij het ontdekken van bepaalde patronen en op basis hiervan kan de meest geschikte techniek gekozen worden.

B.2 Stap 2: Voorspelde vraag omzetten in werknemersbehoefte

In stap 2 moet de voorspelde vraag uit stap 1 omgezet worden naar een bepaalde werknemersbehoefte. Er moet bijvoorbeeld bepaald worden hoeveel werknemers er nodig zijn om het verwachte aantal klanten (voorspeld in stap 1) te bedienen. Dit is noodzakelijk om te kunnen overgaan naar stap 3 (de planningsfase). Om het personeel op een adequate manier te kunnen inplannen, moet men immers weten hoeveel personeelsleden er op ieder moment nodig zijn. Deze sectie is hoofdzakelijk gebaseerd op het werk van Gary M. Thompson (Thompson, 1998b). We zullen drie verschillende methodes bespreken om de werknemersbehoefte te bepalen. Nadien zullen we deze ook met elkaar vergelijken.

Vooraleer je op zoek gaat naar de ideale methode om de voorspelde vraag om te zetten in een bepaalde werknemersbehoefte is het belangrijk om een onderscheid te maken tussen **controleerbaar en oncontroleerbaar werk**. Oncontroleerbaar werk is werk waarbij managers en werknemers geen tijdscontrole hebben, men weet niet op voorhand wanneer het werk precies zal uitgevoerd moeten worden. Typische voorbeelden van dit soort werk zijn situaties waarbij er actie ondernomen moet worden als er klanten toekomen. Aangezien je niet zeker weet wanneer de klanten zullen komen, wordt dit oncontroleerbaar werk genoemd. Bij controleerbaar werk is er wel tijdscontrole mogelijk. Een typisch voorbeeld hiervan is het kuisen van hotelkamers. Tussen het vertrek van de vorige klant en de aankomst van de nieuwe klant zit er telkens een vaste tijdsperiode. In deze tijdsperiode moet de kamer gekuist worden. Aangezien men op voorhand weet in welke tijdsperiode de kamer gekuist zal moeten worden, wordt dit controleerbaar werk genoemd. In de meeste bedrijven bestaat het werk uit een combinatie van controleerbaar en oncontroleerbaar werk.

Het onderscheid tussen controleerbaar en oncontroleerbaar werk is van belang bij de omzetting van de voorspelde vraag in een werknemersbehoefte. Bij **oncontroleerbaar werk** zal men het ideale aantal werknemers bepalen voor iedere tijdsperiode. De duur van een tijdsperiode wordt vooraf bepaald. In de praktijk varieert dit vaak tussen 15 min en 1 uur. Bij **controleerbaar werk** bepaalt men het aantal benodigde werkuren en de periode waarin het werk moet uitgevoerd worden. Zowel voor controleerbaar als oncontroleerbaar werk wordt meestal

één van volgende drie methodes gebruikt om de voorspelde vraag om te zetten in een werknemersbehoefte: **productiviteitsstandaarden, service standaarden en economische standaarden**. Ze worden besproken in de volgende paragrafen.

Productiviteitsstandaarden. Het gebruik van productiviteitsstandaarden is de éénvoudigste manier om de voorspelde vraag om te zetten in een werknemersbehoefte. Eerst wordt er een productiviteitsstandaard vastgelegd en dan wordt gekeken hoeveel werknemers er nodig zijn om aan de verwachte vraag te voldoen. Een voorbeeld van een productiviteitsstandaard is: een kuisvrouw moet 15 hotelkamers per dag kunnen kuisen. Wanneer er verwacht wordt dat er 45 hotelkamers gekuist zullen moeten worden, weet je dat je 3 kuisvrouwen nodig zult hebben. Productiviteitsstandaarden zijn gemakkelijk toepasbaar voor controleerbaar werk. Bij dit soort werk moet de werknemer immers niet wachten op een klant en kan ze ononderbroken verder werken. Bij oncontroleerbaar werk moet er wel rekening gehouden worden met het tijdstip waarop klanten aankomen. Werknemers moeten continu beschikbaar zijn om klanten te bedienen, maar het is mogelijk dat er op een bepaald tijdstip geen enkele klant aanwezig is. Daarom moet men bij het opstellen van een productiviteitsstandaard rekening houden met *idle time* (tijd waarin de werknemer aan het wachten is op klanten). Wanneer een bediende bijvoorbeeld 16 klanten kan bedienen per uur bij een constante toestroom van klanten, zet men de productiviteitsstandaard bijvoorbeeld op 14 klanten per uur omdat men weet dat de toestroom niet constant zal zijn.

Service standaarden. Het doel van service standaarden is om een constant niveau van klantenservice te leveren, onafhankelijk van het tijdstip van de dag. De kwaliteit van een service kan op verschillende manieren gemeten worden. Enkele voorbeelden zijn: gemiddelde wachttijd, gemiddeld aantal klanten dat aan het wachten is, het percentage klanten dat langer dan x minuten moet wachten, ... Het bepalen van het geschikte niveau van een service (= een service standaard) is niet éénvoudig. Enkele hulpmiddelen hiervoor zijn: consumenten-enquêtes, observatie van de klant, experimenten, ... Een hoge service standaard zal leiden tot meer benodigde werknemers en dus hogere personeelskosten, maar ook tot een grotere tevredenheid van de klanten. De meest gebruikte attributen om de voorspelde vraag om te zetten in een werknemersbehoefte op basis van een service standaard zijn wachtlijnmodellen en simulaties. Simulaties komen aan bod in bijlage C, sectie C.2 Simulaties, wachtlijnmodel-

len worden niet besproken in dit werk. Er is een uitgebreide literatuur beschikbaar over dit onderwerp, waar de geïnteresseerde lezer terecht kan voor extra informatie. *Factory Physics* (Hopp & Spearman, 2011) en *Introduction to Operations Research* (Hillier & Liebermann, 2010) zijn twee boeken waarin wachttijmodellen besproken worden.

Economische standaarden Het doel van een economische standaard is om de service op een kostenefficiënte manier te leveren. Toepassing van dit principe leidt meestal tot het leveren van betere service wanneer er een hoge vraag is dan wanneer er een lage vraag is. Bij een hoge vraag zijn er immers meer klanten die in aanraking komen met de service. Bij een lage vraag wegen de kosten van een zeer goede service meestal zwaarder door dan de opbrengsten. Er zijn heel wat manieren om een economische standaard toe te passen. Veronderstel dat er gekeken wordt naar de wachttijd van de klanten om de kwaliteit van de service te beoordelen. Bij een fastfoodrestaurant is het economisch belang van deze wachttijd doorgaans lager dan bv. bij de reservatie van een hotel. De kost (in dit geval een gemiste opbrengst) van één klant die de rij verlaat omdat ze te lang is, is veel lager voor het fastfoodrestaurant. Bij een economische standaard wordt vooral op kosten en opbrengsten gefocust terwijl bij een service standaard vooral de klantentevredenheid van belang is. Economische standaarden zijn vrij succesvol in de praktijk. Ze kunnen echter niet in iedere situatie toegepast worden. Om een economische standaard in te voeren moet het immers mogelijk zijn om de kosten en opbrengsten van verschillende standaarden met elkaar te vergelijken om vervolgens de beste standaard te kiezen. In de praktijk is het echter niet altijd mogelijk om kosten en opbrengsten te kwantificeren. Ook voor het omzetten van de voorspelde vraag in een werknemersbehoefte met behulp van economische standaarden wordt vaak een beroep gedaan op wachttijmodellen en simulaties.

Onderzoek (Thompson, 1998b) toont aan dat het gebruik van de **economische standaard de meest geschikte methode** is, zowel voor controleerbaar als oncontroleerbaar werk. Bovendien kan de economische standaard ook informatie verschaffen over de gevolgen wanneer je zou afwijken van het ideale aantal werknemers. Bij het omzetten van de voorspelde vraag in een werknemersbehoefte is het verder van belang om gebruik te maken van een **extra buffer**. Wanneer je dit niet doet, is de kans groot dat je met een tekort aan personeel zit. Twee belangrijke oorzaken hiervan zijn voorspellingsinaccuraatheid en absentieïsme van werknemers.

Zoals reeds vermeld werd in sectie *B.1 Stap 1: Voorspel de vraag* is een voorspelling nooit 100% juist. Het is dus noodzakelijk om een buffer te hebben voor als de werkelijke vraag hoger is dan de voorspelde vraag. Absenteïsme van werknemers is een ander veel voorkomend probleem. Er zijn heel wat redenen te bedenken waarom een werknemer, die ingepland was, niet of te laat komt opdagen (vb. ziekte, ongeval, file, ...). Het is van groot belang dat deze afwezigheden worden opgevangen met behulp van een buffer. Indien dit niet gebeurt, zal er een tekort aan werknemers zijn.

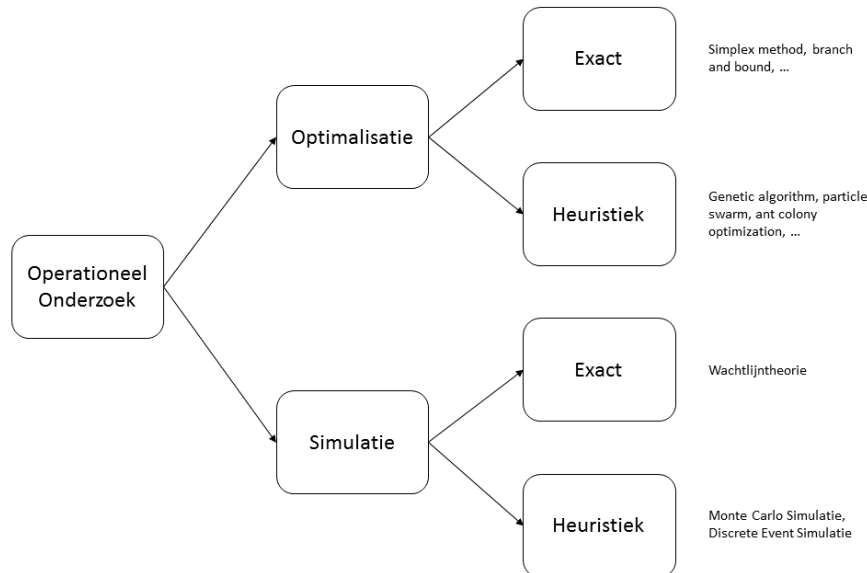
Bijlage C

Oplossingsmethodes voor personeelsplanningsproblemen

De oplossingsmethodes die binnen het vakgebied Operationeel Onderzoek (waartoe personeelsplanningsproblemen behoren) gebruikt worden, kunnen opgesplitst worden in twee categorieën: **optimalisatie en simulatie**. Bij optimalisatie (sectie C.1) veronderstelt men dat alle gebruikte data correct is (deterministische benadering). Bij simulatie (sectie C.2) houdt men rekening met de variabiliteit en onzekerheid van de gebruikte data (stochastische benadering). Beiden kunnen nog verder opgesplitst worden in **exacte en heuristische oplossingsmethodes**. Exacte oplossingsmethodes leveren altijd de optimale oplossing op, bij heuristische oplossingsmethodes is dit niet het geval. De meest geschikte oplossingsmethode hangt af van het specifieke probleem en het doel van het onderzoek. Tabel 3.7 uit sectie 3.2.2 Personeelsplanning in de retailsector (zie hoofdstuk 3) toont dit duidelijk aan. Zes keer werd er een verschillende oplossingsmethode gebruikt en zowel optimalisatie als simulatie werden toegepast. Ook werden zowel exacte als heuristische oplossingsmethodes gebruikt. Figuur¹ C.1 geeft een visueel overzicht van de verschillende oplossingsmethodes met enkele voorbeelden. In deze bijlage zullen we deze beknopt behandelen, zodat het voor de lezer duidelijk is welke methodes beschikbaar zijn en wanneer ze gebruikt kunnen worden. Bij de heuristische simulatiemethodes zullen we wat langer blijven stilstaan, aangezien deze toegepast worden in deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7. We zullen ook telkens verwijzen naar de relevante literatuur

¹Deze figuur werd in gewijzigde vorm overgenomen uit de cursus Applied Operations Research (Vanhoucke, 2015a), pagina 12.

zodat de geïnteresseerde lezer extra informatie kan raadplegen. Op het einde van deze sectie worden de verschillende oplossingsmethodes met elkaar vergeleken (sectie C.3).



Figuur C.1: Overzicht oplossingsmethodes

C.1 Optimalisatie

Optimalisatie² kan **exact** of met behulp van **heuristieken** gebeuren. In volgende secties zullen we bespreken wanneer een model exact opgelost kan worden (sectie C.1.1) en wanneer je best gebruik maakt van heuristieken (sectie C.1.2). Ook zullen een aantal voorbeelden van concrete oplossingsmethodes gegeven worden.

C.1.1 Exacte optimalisatie

Exacte optimalisatie kan gebruikt worden voor relatief éénvoudige problemen, waarbij een **lineair** model opgesteld kan worden. Een **lineair model** is een model waarbij alle vergelijkingen (objectieven en restricties) lineair zijn. Een **lineaire vergelijking** is een vergelijking waarin elke term ofwel een constante is, ofwel het product van een constante met (de eerste

²Deze sectie is hoofdzakelijk gebaseerd op de cursus Applied Operations Research (Vanhoucke, 2015a) en de boeken Taking Sound Business Decisions (Vanhoucke, 2015b) en Introduction to Operations Research (Hillier & Liebermann, 2010).

macht) van één enkele variabele (Vanhoucke, 2015a). Voorbeelden van lineaire vergelijkingen zijn: $y = 3x + 8$, $3x + 2y - z = 0$, ... Wanneer de lineaire vergelijking bestaat uit 2 variabelen is de grafiek ervan een rechte. Voorbeelden van niet-lineaire vergelijkingen zijn: $y = 5x^2 + 3$, $x \leq \min(y, z)$, ...

Integer modellen zijn een uitbreiding van lineaire modellen. Bij lineaire modellen zijn alle variabelen fractioneel (decimaal), terwijl bij integer modellen er minimum één variabele is die enkel een geheel getal (integer) mag zijn. Integer modellen zijn NP-hard (non-deterministic polynomial-time hard), wat wil zeggen dat het zeer moeilijk is om ze op te lossen en het zeer lang duurt vooraleer de optimale oplossing gevonden wordt³. Door de integer restrictie kan de Simplex Methode, een efficiënte methode om lineaire modellen op te lossen, niet gebruikt worden. De **Simplex Methode**⁴ is een algoritme dat in 1947 werd uitgevonden door Georg Dantzig. Het algoritme doorzoekt de oplossingsruimte, die bestaat uit oneindig veel oplossingen, op een zeer efficiënte manier waardoor de optimale oplossing snel gevonden kan worden. De methode wordt ook nu nog veelvuldig gebruikt om lineaire modellen op te lossen en het tijdschrift *Computing in Science and Engineering* nam het zelfs op in een lijst met de 10 beste algoritmes van de 20ste eeuw.

Integer modellen worden vaak opgelost met behulp van de **Branch-and-bound Methode**⁵. Deze methode splitst het integer probleem op in subproblemen, waarbij elk subprobleem behandeld wordt als een nieuw lineair probleem. Deze opsplitsing gebeurt meestal meerdere keren. Door het splitsen van de (sub)problemen ontstaat er een boomstructuur, waarbij de diepergelegen niveau's een integer (geheeltallige) oplossing kunnen opleveren. Een gevonden oplossing is echter niet noodzakelijk de optimale oplossing. De boomstructuur moet eerst volledig opgelost worden vooraleer men met zekerheid de optimale oplossing kan identificeren. Dit kan veel tijd in beslag nemen. Vandaar dat integer problemen NP-hard genoemd worden.

³Op pagina 17 en 18 van het boek *Taking Sound Business Decisions* (Vanhoucke, 2015b) wordt aan de hand van een éénvoudig voorbeeld uitgelegd waarom integer problemen zoveel moeilijker op te lossen zijn in vergelijking met lineaire problemen.

⁴De lezer die meer wenst te weten over de logica achter en het gebruik van de Simplex Methode wordt doorverwezen naar de hoofdstukken 4 en 5 uit *Introduction to Operations Research* (Hillier & Liebermann, 2010).

⁵De lezer die meer wenst te weten over de logica achter en het gebruik van de Branch-and-bound Methode wordt doorverwezen naar hoofdstuk 11 uit *Introduction to Operations Research* (Hillier & Liebermann, 2010).

C.1.2 Optimalisatie met behulp van heuristieken

Exacte optimalisatie kan enkel gebruikt worden voor lineaire modellen (cfr. supra). In de praktijk heeft men echter ondervonden dat de meeste planningsproblemen niet-lineair zijn (Baumol & Bushnell, 1967). **Niet-lineaire modellen** zijn veel moeilijker op te lossen dan lineaire, bovendien is de gevonden oplossing niet langer optimaal. Een eerste oplossingsmethode ligt dan ook voor de hand: het lineariseren van de niet-lineaire vergelijkingen in het model, waarna een lineaire oplossingsmethode toegepast kan worden. **Lineariseren van vergelijkingen** vraagt wat wiskundig inzicht, maar meestal is het niet zo complex en zeker de moeite waard aangezien voor lineaire modellen een optimale oplossing gevonden kan worden. De niet-lineaire vergelijking $x \leq \min(y, z)$ kan bijvoorbeeld vervangen worden door de volgende twee lineaire vergelijkingen: $x \leq y$ en $x \leq z$. Het lineariseren van vergelijkingen is echter niet altijd zo éénvoudig. Hoe kan $x \leq \max(y, z)$ gelineariseerd worden?⁶ Een vaak gebruikte techniek om dergelijke vergelijkingen te lineariseren is de **Big M methode**⁷. Hierbij stelt M een zeer groot getal voor.

Een andere mogelijke manier om niet-lineaire modellen op te lossen, is het gebruik van **heuristieken en meta-heuristieken**. Heuristieken maken gebruik van lokale zoekprocedures, terwijl meta-heuristieken lokale en globale zoekprocessen combineren. Meta-heuristieken zijn meer algemeen en toepasbaar op een groot aantal, gevarieerde problemen (Spencer, W. M., 2014). In het vervolg van deze sectie zullen we ons dan ook focussen op meta-heuristieken. Meta-heuristieken gaan op zoek naar een heuristische (een goede, maar niet noodzakelijk de beste) oplossing door een bepaald algoritme, waarbij de oplossingsruimte op een slimme ma-

⁶Mogelijke oplossing:

$$y \leq z + M \times w$$

$$z \leq y + M \times (1 - w)$$

$$x \leq y + M \times (1 - w)$$

$$x \leq z + M \times w$$

$$x, y, z \geq 0, w \text{ binary}$$

⁷De lezer die meer informatie wenst over het gebruik van de Big M methode om vergelijkingen te lineariseren, kan het boek Taking Sound Business Decisions (Vanhoucke, 2015b), pagina 68 en 69 raadplegen.

nier wordt doorzocht, toe te passen. Meestal moet er een bepaald stop-criterium meegegeven worden en wanneer dit bereikt is, wordt de beste gevonden oplossing gerapporteerd. Iedere meta-heuristiek heeft andere karakteristieken waardoor de kans groot is dat verschillende meta-heuristieken een andere oplossing bekomen.

De kwaliteit van de heuristische oplossing wordt bepaald door het verschil met de optimale oplossing. Voor niet-lineaire modellen is de optimale oplossing echter onbekend (tenzij je de vergelijkingen kan lineariseren en vervolgens het model oplost met een exacte oplossingsmethode). Een methode om toch iets te kunnen zeggen over de kwaliteit van de heuristische oplossing is het **relaxeren van de oplossing**. Hierbij verwijder je één of meerdere restricties uit het model en ga je vervolgens op zoek naar de optimale oplossing (na het verwijderen van een aantal restricties is dit meestal vrij éénvoudig). De gevonden gerelaxeerde oplossing kan dan gebruikt worden als bovengrens (bij maximalisatie) of ondergrens (bij minimalisatie). Hoe dichter de heuristische oplossing bij de gerelaxeerde oplossing ligt, hoe beter.

Bij heuristische zoekprocedures wordt er vaak een onderscheid gemaakt tussen *single solution* en *population-based zoekprocedures*. Bij single solution start men met een (willekeurige) oplossing en probeert men deze vervolgens te verbeteren door een voorafbepaalde strategie toe te passen. Voorbeelden van single solution zoekprocedures zijn simulated annealing, iterated local search, variable neighbourhood search en guided local search algoritmes. Population-based zoekprocedures starten met een verzameling van oplossingen (= de populatie), vervolgens worden de karakteristieken van de populatie gebruikt om op zoek te gaan naar betere oplossingen. Population-based zoekprocedures zijn vaak gebaseerd op fenomenen die in de natuur voorkomen. Genetic algorithms, particle swarm optimization, ant colony optimization en electromagnetic search optimization zijn enkele voorbeelden van population-based zoekprocedures.⁸

⁸De lezer die meer informatie wenst over de concrete werking van bepaalde meta-heuristieken wordt doorverwezen naar de literatuur. Hoofdstuk 13 uit het boek Introduction to Operations Research (Hillier & Liebermann, 2010) kan hiervoor een interessant startpunt zijn.

C.2 Simulatie

Zoals reeds eerder vermeld werd, bestaat er een onderscheid tussen exacte en heuristische simulatietechnieken. **Wachtlijnmodellen** zijn het standaardvoorbeeld van exacte simulatie. Hierbij wordt er een **mathematisch model** opgesteld en de gevonden oplossing is de optimale oplossing. Wachtlijnmodellen worden vaak gebruikt voor services. In de supermarkt, bijvoorbeeld, is het wachtrijsysteem zeer belangrijk om de klanten (en werknemers) tevreden te houden. Wachtlijnmodellen kunnen gebruikt worden om te bepalen hoeveel servers (kassa's) er open moeten zijn bij een bepaald aankomstenpatroon van de klanten, verschillende wachtrijsystemen met elkaar te vergelijken, ... Ook in productieondernemingen wordt veelvuldig gebruik gemaakt van wachtlijnmodellen, bijvoorbeeld voor het voorraadbeheer. De lezer die meer informatie wenst over wachtlijnmodellen wordt doorverwezen naar de literatuur⁹.

Wanneer men het in de literatuur echter over simulatie heeft, doelt men meestal op **heuristische simulatie**. Hierbij maakt men gebruik van *Monte Carlo en Discrete event simulation* en de gevonden oplossing is een goede, maar niet noodzakelijk de beste oplossing. Monte Carlo simulatie wordt gebruikt om willekeurige getallen uit een probabiliteitsverdeling te genereren. Discrete event simulatie modelleert het werkelijke systeem aan de hand van discrete gebeurtenissen die elkaar in een bepaalde volgorde opvolgen. Monte Carlo en discrete event simulatie worden vaak samen gebruikt. Op het einde van deze sectie zullen we dit illustreren met een éénvoudig voorbeeld. Tijdens de praktijkstudie (zie deel 2 Praktijkstudie, hoofdstuk 7) worden Monte Carlo en Discrete event simulatie ook veelvuldig toegepast. Vooraleer we een concreet voorbeeld van een simulatie geven (sectie C.2.3), zullen we echter eerst de verschillende stappen voor het opstellen van een simulatiestudie (sectie C.2.1) en de toepassingsmogelijkheden (sectie C.2.2) bespreken.

⁹Hoofdstuk 17 uit het boek *Introduction to Operations Research* (Hillier & Liebermann, 2010) bespreekt de basisprincipes van de wachtlijntheorie. Technical note 1 uit het boek *Service Management: An Integrated Approach* (Gemmel *et al.*, 2013) analyseert wachtlijnssystemen in serviceomgevingen.

C.2.1 Overzicht verschillende stappen simulatiestudie

Simulatie¹⁰ is een techniek die vaak gebruikt wordt in operationeel onderzoek. Het wordt typisch gebruikt wanneer het stochastisch systeem¹¹ dat onderzocht wordt te complex is om aan de hand van mathematische modellen (bv. wachtrijmodellen) geanalyseerd te worden. Een simulatiemodel bootst het werkelijke systeem na door gebruik te maken van probabiliteitsverdelingen die op een willekeurige manier gebeurtenissen, die in het systeem optreden, genereren. Het simulatiemodel wordt opgebouwd door het systeem te ontleden in zijn kleinste componenten en deze dan op een logische manier weer samen te voegen. Wanneer het simulatiemodel klaar is, wordt het *gerund* (uitgevoerd). Hierna kunnen de prestaties van het systeem beoordeeld worden aan de hand van de statistische waarden die uit het *runnen* van het simulatiemodel voortvloeien. Typisch wordt een simulatiemodel, met lichtjes verschillende eigenschappen, meerdere keren gerund. Men laat een model bijvoorbeeld runnen voor drie verschillende waarden van een bepaalde parameter en vergelijkt dan de resultaten. Omdat bij het runnen van een simulatiemodel meestal een beroep wordt gedaan op een grote hoeveelheid data, wordt dit uitgevoerd op een computer. Er bestaan heel wat verschillende softwareprogramma's om simulaties uit te voeren (cfr. infra). Hieronder volgt een overzicht van de typische stappen die tijdens een simulatiestudie doorlopen worden.

Stap 1: Formuleer het probleem en stel een plan op voor de simulatiestudie

Vooraleer je op zoek gaat naar oplossingen voor een probleem is het natuurlijk zeer belangrijk dat het probleem grondig geformuleerd wordt. Hiervoor moeten de opdrachtgever en de uitvoerders van de simulatiestudie samenzitten en overleggen zodat iedereen het probleem op dezelfde manier interpreteert. Het is de bedoeling dat tijdens deze bijeenkomst antwoorden worden geformuleerd op een aantal essentiële vragen. Deze vragen kunnen bijvoorbeeld zijn:

- Wat is het probleem dat het management wil laten onderzoeken?
- Wat zijn de doelstellingen van de simulatiestudie?
- Welke specifieke moeilijkheden moeten nader onderzocht worden?

¹⁰Deze sectie is gebaseerd op hoofdstuk 20 uit het boek *Introduction to Operations Research* (Hillier & Liebermann, 2010).

¹¹**Stochastisch systeem:** systeem dat probabilistisch evolueert over de tijd. Bepaalde gebeurtenissen hebben bijvoorbeeld geen vaste duurtijd, maar volgen een bepaalde verdeling.

- Welke alternatieve systemen moeten onderzocht worden?
- Welke *performance measures* moeten gebruikt worden?
- Hoeveel tijd krijgen de uitvoerders om de simulatiestudie te voltooien?

Naast het grondig formuleren van het probleem is het van belang dat de uitvoerders van de simulatiestudie goed weten hoe het huidige systeem werkt. Om hier een duidelijk beeld van te krijgen, moet er uitleg gevraagd worden aan de werknemers die nauw bij het systeem betrokken zijn (ingenieurs, operationeel personeel, ...).

Stap 2: Verzamel de benodigde gegevens en formuleer het simulatiemodel

De gegevens die men nodig heeft voor het opstellen van het simulatiemodel verschillen van situatie tot situatie. Meestal zijn de **probabiliteitsverdelingen** van de relevante variabelen de belangrijkste gegevens. Voor het opstellen van een wachtlijnsysteem heeft men bijvoorbeeld nood aan de verdelingen van de *interarrival times* en de *service times*. In de praktijk zijn deze verdelingen meestal niet exact gekend, daarom moet men schattingen gebruiken. Desalniettemin is het zeer belangrijk met deze schattingen van verdelingen te werken en niet met gemiddeldes die men wel kent. De scenario's zullen hierdoor representatiever zijn dan wanneer men gemiddeldes gebruikt. De kans is immers groot dat de gemiddelde situatie in de praktijk zelden of nooit voorkomt.

De **verschillende componenten van een systeem** zijn op een bepaalde manier met elkaar **gelinkt**. Het is dan ook belangrijk dat deze links correct worden overgenomen in het simulatiemodel. Om een duidelijk overzicht te krijgen van de links en ervoor te zorgen dat er geen enkele link wordt vergeten, wordt er vaak een *flow diagram* opgesteld.

Stap 3: Controleer de accuraatheid van het simulatiemodel

Wanneer het volledige simulatiemodel opgesteld is, is het zeer belangrijk dat dit nog eens grondig gecontroleerd wordt vooraleer men overgaat tot het *runnen* van het model. De mensen die het nauwst betrokken zijn bij het systeem moeten de accuraatheid van het simulatiemodel nagaan. Vaak gebeurt dit door middel van een presentatie van het simulatiemodel door de opstellers ervan met als publiek de *key people* (zij die het systeem het best kennen). Tijdens zo'n

presentatie komen dikwijls foutieve assumpties naar boven, die vervolgens aangepast worden. Ook nieuwe assumpties waar nog geen rekening mee werd gehouden, worden gesuggereerd door de key people. Deze bijeenkomst is bovendien een laatste kans om de doelstellingen van het project eventueel nog aan te passen en iedereen op één lijn te krijgen.

Stap 4: Kies een softwareprogramma en bouw het simulatiemodel op

De beschikbare software voor het uitvoeren van simulaties wordt meestal opgedeeld in een aantal klassen. Een eerste klasse is de *spreadsheet software* waarvan Excel natuurlijk het best gekende voorbeeld is. Wanneer de toepassingen complexer worden en meer data bevatten, is de spreadsheet software echter ontoereikend en wordt er vaak een beroep gedaan op *general-purpose programming languages*. Voorbeelden hiervan zijn C, FORTRAN, BASIC, ... Met deze software kan elke soort simulatie geprogrammeerd worden. Het maken van een dergelijk programma is echter zeer arbeidsintensief en kost heel wat tijd, waardoor deze software momenteel steeds minder gebruikt wordt voor het uitvoeren van simulaties. Een bijkomende reden voor de daling van het gebruik van general-purpose programming languages is de opkomst van software die specifiek gericht is op het uitvoeren van simulaties zoals *general-purpose simulating languages* en *application-oriented simulators*. Een voorbeeld van dit type software is Arena. Deze specifieke simulatiesoftware kan gebruikt worden om de meest uiteenlopende simulaties uit te voeren. Vaak zijn er ook animaties geïntegreerd in deze softwareprogramma's. Hierbij worden de belangrijkste elementen van de simulatie visueel voorgesteld. Wanneer bijvoorbeeld een bepaalde service met wachtrij wordt gesimuleerd, wordt dit visueel weergegeven door het aantal wachtenden te tonen. Deze animaties worden hoofdzakelijk toegevoegd om de essentie van de simulatie over te brengen naar de managers en ander betrokken personeel.

Stap 5: Test de validiteit van het simulatiemodel

Nadat het simulatiemodel opgesteld is in een bepaald softwareprogramma en de *bugs* (fouten) eruit gehaald zijn, moet de validiteit van de resultaten getest worden. Zijn de resultaten van het simulatiemodel realistisch? Om dit na te gaan vergelijkt men bijvoorbeeld de *performance measures* uit het simulatiemodel met de verwachtingen die geformuleerd werden op basis van het bestaande systeem. In sommige gevallen bestaat er ook een mathematisch model van

(een vereenvoudigde versie van) het systeem. De resultaten van de simulatie kunnen dan vergeleken worden met de resultaten van het mathematisch model. Een andere mogelijkheid is het organiseren van een kleine veldtest. Hierbij wordt een bepaalde versie van het systeem op kleine schaal geïmplementeerd en worden de resultaten ervan vergeleken met de resultaten van het simulatiemodel. Tot slot kan men ook nog eens vragen aan de betrokken werknemers om de simulatie eens van dichtbij te bestuderen en te controleren of alle gevolgde stappen in overeenstemming zijn met de werkelijkheid. Een handig hulpmiddel hierbij is de animatiefunctie die bij heel wat softwareprogramma's standaard aanwezig is.

Stap 6: Stel een planning op van de uit te voeren simulaties

Na het valideren van het simulatiemodel moet men beslissen welke configuraties van het systeem men zal uitvoeren. Voor iedere configuratie moet dan een simulatie *gerund* worden. Het kiezen van de te onderzoeken configuraties is een belangrijke, maar ook moeilijke beslissing. Vaak is dit een evolutionair proces. Eerst voert men een aantal voor de hand liggende standaardconfiguraties uit. Op basis van de resultaten van deze simulaties wordt dan bepaald welke andere configuraties er nog interessant zijn om uit te voeren.

In deze fase moet men ook een aantal karakteristieken van de simulaties vastleggen. Ten eerste moet men kiezen hoe lang men de *warm-up* periode laat duren. De **warm-up periode** is een tijdsperiode die doorlopen moet worden vooraleer de *steady-state* situatie bereikt wordt. Wanneer men een systeem opstart, is de initiële output immers nog niet representatief voor de dagdagelijkse werking van het systeem. Meestal voert men een aantal tests uit om te bepalen vanaf wanneer de *steady-state* situatie begint en rapporteert men vanaf dan de resultaten. Soms maakt men ook gebruik van bepaalde startcondities waardoor de resultaten meteen representatief zijn. Ten tweede moet men beslissen over de **duurtijd van een simulatierun**. Simulaties moeten gezien worden als experimenten die statistische observaties opleveren voor de performantie van het gesimuleerde systeem. De lengte van de simulatierun verhogen, zorgt ervoor dat de precisie van de schattingen met betrekking tot de performantieparameters toeneemt. Deze toename in precisie moet natuurlijk afgewogen worden tegen de langere duurtijd van de simulaties. Afhankelijk van het gewenste precisieniveau, het aantal uit te voeren simulaties en de beschikbare tijd om de simulaties uit te voeren wordt de lengte van iedere simulatierun vestgelegd.

Stap 7: Voer de simulaties uit en analyseer de resultaten

Wanneer men alle simulaties heeft uitgevoerd, bekomt men voor iedere geteste configuratie van het systeem een **schatting van de performantieparameters**. Bovendien kan voor iedere geschatte waarde ook een **betrouwbaarheidsinterval** opgesteld worden. Op basis van deze resultaten kunnen de verschillende configuraties van het systeem dan vergeleken worden. Het kan zijn dat één bepaalde configuratie duidelijk beter is dan de andere. Meestal zijn er echter een aantal configuraties die zeer goed scoren. Om dan te bepalen welke configuratie het best is, worden er voor deze configuraties nieuwe simulaties uitgevoerd met een langere duurtijd. Soms beslist men op basis van de resultaten ook om nog nieuwe configuraties, waar men eerder niet aan had gedacht of die aanvankelijk minder relevant leken, uit te testen.

Stap 8: Presenteer de aanbevelingen aan het management

Na het voltooien van de analyse moeten er, op basis van de resultaten, aanbevelingen gedaan worden aan het management. Meestal gebeurt dit door middel van een **schriftelijk rapport en een mondelinge presentatie**. Enkele zaken die hierin zeker aan bod moeten komen: een duidelijke beschrijving van hoe de studie werd uitgevoerd en numerieke resultaten die de aanbevelingen ondersteunen. Vaak is het handig dat men ook een visuele representatie van het simulatieproces kan geven door middel van bijvoorbeeld een animatieprogramma. Zo zal het management de gedachtegang achter de simulatie gemakkelijker begrijpen.

C.2.2 Enkele toepassingen van simulaties

Simulatie is een zeer veelzijdige techniek en kan hierdoor in heel wat verschillende situaties toegepast worden. (Bijna) alle soorten stochastische systemen kunnen hiermee onderzocht worden. Hieronder volgen een aantal specifieke toepassingen waarin vaak simulatietechnieken aangewend worden.

- Ontwerp en werking van wachtlijnsystemen, productiesystemen, distributiesystemen, ...
- Beheer van voorraadssystemen
- Inschatten van de kans dat een project op tijd opgeleverd wordt

- Financiële risicoanalyse
- Specifieke toepassingen in de gezondheidszorg, retail, callcenters en andere service industrieën
- Militaire toepassingen
- ...

De lezer die meer inzicht wil krijgen in simulatiemodellen en praktische toepassingen ervan wordt doorverwezen naar de gespecialiseerde literatuur. Hoofdstuk 20 uit het boek *Introduction to Operations Research* (Hillier & Liebermann, 2010) is een interessant startpunt. In de referenties van dit boek vind je gegevens met betrekking tot meer gespecialiseerde literatuur.

C.2.3 Voorbeeld gebruik Monte Carlo en Discrete event simulatie

Figuur C.2 toont de schematische voorstelling van een éénvoudig productieproces. De grondstoffen doorlopen twee processen waarin ze verwerkt worden tot een afgewerkt product. We veronderstellen dat beide processen een normale verdeling volgen met volgende parameters: proces 1 (resp. 2) heeft een gemiddelde duurtijd van 5 (resp. 10) minuten met een variantie van 4 (resp. 9) minuten. Het doel van de simulatie is om te achterhalen hoeveel producten gemiddeld per uur geproduceerd kunnen worden en hoe sterk dit kan fluctueren.



Figuur C.2: Schematische voorstelling productieproces

Met behulp van Excel stellen we een Discrete event simulatie op (zie tabel C.1). Op tijdstip 0 wordt proces 1 voor de eerste keer opgestart. Om de duur van dit proces te bepalen wordt Monte Carlo simulatie gebruikt. Hierbij wordt een willekeurige waarde uit de normale verdeling gegenereerd. Voor product 1 is dit 5 minuten. Na 5 minuten is het eerste proces voor product 1 afgelopen en kan proces 2 aangevat worden (we veronderstellen dat de transporttijd

verwaarloosbaar is). Tevens kan proces 1 voor product 2 beginnen. Aangezien het 2de proces gemiddelde 2x zo lang duurt als het eerste proces, zullen de producten zich ophopen voor proces 2. Na 45 minuten zullen er bijvoorbeeld 3 producten aan het wachten zijn om de 2de processtap te doorlopen. Na 1 uur zijn er in totaal 4 afgewerkte producten. Tabel C.1 toont slechts de gegevens van 1 mogelijke uitkomst. Wanneer je gebruik maakt van simulatie is het belangrijk dat je deze vele malen laat *runnen*, anders zullen de resultaten niet accuraat zijn. Daarom hebben we voor dit voorbeeld de simulatie 100 keer uitgevoerd¹². Op basis van deze simulaties bekomen we een gemiddeld aantal producten per uur van 4,94 met een standaardafwijking van 0,97. Vervolgens kunnen betrouwbaarheidsintervallen opgesteld worden.

Product	Proces 1			Proces 2		
	Begin proces	Procestijd	Vertrek	Begin proces	Procestijd	Vertrek
1	0	5	5	5	10	15
2	5	5	10	15	10	25
3	10	8	18	25	14	39
4	18	6	24	39	11	50
5	24	10	34	50	17	0
6	34	4	38	0	0	0
7	38	4	42	0	0	0
8	42	4	46	0	0	0
9	46	6	52	0	0	0
10	52	7	59	0	0	0
11	59	4	0	0	0	0

Tabel C.1: Simulatie productieproces

¹²We hebben hier voor 100 runs gekozen omdat het enkel de bedoeling is om de werking van een simulatie te illustreren. In real-life voorbeelden zal het aantal runs (veel) groter zijn.

C.3 Vergelijking oplossingsmethodes

In tabel¹³ C.2 worden de verschillende oplossingsmethodes vergeleken op basis van een aantal specifieke kenmerken. Deze tabel doet dienst als samenvatting van deze bijlage en geeft inzicht in de gelijkenissen en verschillen van de besproken oplossingsmethodes.

Kenmerken	Optimalisatie		Simulatie	
	Exact	Heuristisch	Exact	Heuristisch
Kwaliteit oplossing	Optimaal	Goed	Optimaal	Goed
Complexiteit probleem	Simpel	Simpel/Moeilijk	Simpel	Moeilijk
Computertijd	Hoog	Laag	Geen	Medium
Model	Lineair	Lineair/Niet-lineair	Mathematische formules	DE en/of MC simulatie
Deterministisch/Stochastisch	Deterministisch	Deterministisch	Stochastisch	Stochastisch
Vbn. Oplossingsmethodes	Simplex Method	Genetic algorithm	Wachttijtheorie	Discrete event simulatie
"	Branch-and-bound	Particle swarm		Monte Carlo simulatie

Tabel C.2: Samenvattende tabel oplossingsmethodes

¹³Deze tabel werd in gewijzigde vorm overgenomen uit cursus Applied Operations Research (Vanhoucke, 2015a), pagina 12 en 13.

Bijlage D

Voorstelling Delhaize Groep

In deze bijlage wordt de Delhaize Groep, waar Delhaize Watersportbaan toe behoort, voorgesteld. In sectie D.1 wordt de **evolutie van de Delhaize Groep** van oprichting tot de meest recente ontwikkelingen besproken. Hierbij hebben we zowel oog voor de nationale als de internationale expansie. In sectie D.2 wordt de **managementstructuur** van de Delhaize Groep onder de loep genomen. Het leiden van een internationaal bedrijf vereist immers een aangepaste managementstructuur. In sectie D.3 volgt een overzicht van de **verschillende winkelconcepten** die door de Delhaize Groep gebruikt worden. De Delhaize Groep werkt met verschillende winkelformules om op de noden van iedere (potentiële) klant te kunnen inspelen. In sectie D.4 wordt een overzicht gegeven van de **verschillende spelers op de Belgische markt** en de positie van de Delhaize Groep ten opzichte van haar concurrenten. In sectie D.5 tot slot worden een aantal **interessante feiten en cijfers** besproken. Hierbij wordt onder andere de huidige financiële performantie van de Delhaize Groep bestudeerd.

D.1 Geschiedenis

In dit stuk wordt een beknopte versie van de geschiedenis van de Delhaize Groep weergegeven. Dit is enkel om wat meer inzicht te krijgen in de evolutie van het bedrijf en het is geenszins de bedoeling om hierin exhaustief te zijn. De geïnteresseerde lezer wordt doorverwezen naar het boek Delhaize “De Leeuw”: Kruideniers sinds 1867 (Collet *et al.*, 2003).

Het begin

In 1867 hervormde Jules Delhaize, samen met zijn broer Edouard en schoonbroer Jules Vieujant, de Belgische voedingsdistributiesector door de invoering van een **nieuw filialensysteem** « **Etablissements Delhaize Frères Le Lion** ». Dit systeem bestond uit een netwerk van bijhuizen (kleine winkeltjes, liefst op de hoek van de straat). In deze winkels werden kruidenierswaren, koloniale producten, wijnen en sterke dranken verkocht. De bevoorrading gebeurde via een centrale opslagplaats. De eerste winkel van deze nieuwe keten werd geopend in Charleroi. In 1883 werd beslist om het bedrijf en de opslagplaats te verhuizen naar Sint-Jans-Molenbeek, omdat deze plaats geografisch beter gelegen was om de producten te distribueren. Vanaf dat ogenblik kende de onderneming een enorme expansie.

De nationale expansie

Rond de eeuwwisseling opende Delhaize haar **eigen fabrieken** waar onder meer schoensmeer, parfum, verf, koffie en chocolade gemaakt werden. Deze producten werden vervolgens in de Delhaize-winkels verkocht. Rond de jaren 30 sloeg de economische crisis echter toe en één van de gevolgen hiervan was de opkomst van de discountzaken, die trachtten in te spelen op de verminderde koopkracht bij de bevolking. Delhaize reageerde hierop door de introductie van het budgetmerk “Derby”. In 1957 opende Delhaize de **eerste supermarkt met volledige zelfbediening in België**, op het Brusselse Flagey-plein. Hiervoor liet Delhaize zich inspireren door de Amerikaanse markt waar het supermarktmodel al eerder zijn intrede had gedaan (zie ook bijlage A, sectie A.2 Ontstaan supermarktconcept).

Vanaf dan schoten de Delhaize-supermarkten als paddenstoelen uit de grond. Het aantal supermarkten evolueerde van 3 stuks in 1959 tot 41 in 1969 en 75 in 1975. In 1975 deed de wet op de handelsvestigingen echter zijn intrede. Deze wet bemoeilijkte de opening van nieuwe winkels in België. Het aantal Delhaize-winkels groeide nog wel, maar niet meer zo snel als voorheen. Ondertussen (in de periode 1959-1984) verdwenen de bijhuizen geleidelijk van de markt. Vanaf de jaren 80 introduceerde Delhaize enkele **nieuwe winkelformules** zoals de franchiseformule AD Delhaize. Voor meer uitleg hieromtrent verwijzen we naar sectie D.3 Winkelconcepten.

De internationale expansie

Delhaize besloot, onder andere door de wet op de handelsvestigingen in België, om haar gezichtsveld wat te verruimen en te investeren in de internationalisering van het bedrijf. Het internationale parcours van Delhaize wordt, ondanks het feit dat niet alle internationale operaties goed afliepen, vaak als zeer succesvol beschouwd. Aanvankelijk richtte Delhaize zich vooral op West-Europa, maar omwille van de strenge reglementering en grote concurrentie in deze landen verlegde Delhaize zijn aandacht naar de **Verenigde Staten**. Men koos het zuidoosten als het meest interessante geografisch gebied omwille van de gunstige demografische groei, gematigde concurrentie en vrij beperkte aanwezigheid van vakbonden. Delhaize deed zijn intrede in deze markt door te investeren in plaatselijke winkelketens. Het investeerde onder andere in Food Town Stores dat later omgedoopt werd tot Food Lion en uiteindelijk de naam Delhaize America aannam. Delhaize werkte nauw samen met deze winkels, maar liet het dagelijks bestuur over aan de Amerikaanse directie. Vanaf midden jaren 80 richtte Delhaize zijn blik weer op Europa omdat het niet te sterk afhankelijk wilde zijn van één land en één munt. Delhaize vestigde zich gedurende de jaren 1980, 1990 en 2000 in verschillende Europese landen, hoofdzakelijk in **Oost-Europa**. Het deed dit voornamelijk door het overnemen van lokale winkels. Eind jaren 90 deed Delhaize ook haar intrede op de **Aziatische markt**. Andere markante gebeurtenissen die plaatsvonden tijdens de jaren 90 waren de introductie van de “plus-kaart”, de eerste getrouwheidskaart in de Belgische distributiesector in 1991 en het rondenvan de kaap van 2000 verkooppunten wereldwijd.

Gedurende het eerste decennium van de 21ste eeuw zette Delhaize zijn opmars verder. Eind 2009 telde het netwerk van Delhaize Group 2.732 winkels en stelde ze 138.000 personen te werk. In België bestond het personeelsbestand uit 17.000 werknemers verdeeld over 792 winkels. Deze realiseerden in 2009 een zakencijfer van 4,6 miljard euro. Verder had Delhaize België een marktaandeel van 25,7%.

Recente ontwikkelingen

De laatste jaren staan de resultaten van Delhaize in ons land sterk onder druk. Dit is, volgens Delhaize zelf, te wijten aan de groeiende structurele kostenhandicap op het vlak van loon- en arbeidsvoorwaarden in de activiteiten in eigen beheer, het economisch klimaat en de

snel toenemende concurrentie (Vlaams infocentrum land- en tuinbouw, 2014). De structurele kostenhandicap van Delhaize ten opzichte van haar concurrenten wordt vooral veroorzaakt doordat het personeel gemiddeld ouder en door de anciënniteitsregeling dus ook duurder is. Om hier iets aan te doen, kondigde Delhaize in 2014 een **grootschalig herstructurerings- en besparingsplan** aan (De Redactie, 2014). Concreet moesten er 2500 werknemers verdwijnen en zouden er 14 winkels afgestoten worden. Zij die wel aan boord mochten blijven, moesten vrede nemen met minder gunstige arbeidsvoorwaarden. Deze aankondiging leidde tot zeer grote sociale onrust met stakingen tot gevolg. Uiteindelijk werd een sociaal akkoord bereikt waarbij 1800 banen verdwenen. Deze recente ontwikkelingen wijzen erop dat het personeel een zeer belangrijke resource is voor Delhaize (en ook voor andere supermarktketens). Vandaar dat het zeer relevant is om te kijken of het personeel op een efficiënte manier wordt ingezet. Het doel van de praktijkstudie is dan ook om het personeelsplanningsproces onder de loep te nemen en waar mogelijk verbeteringen te suggereren. Zoals reeds vermeld zal de hoofdfocus hierbij liggen op het proces waarbij werknemers aan taken toegewezen worden.

Ondanks deze recente personeelsproblemen slaagde Delhaize er toch in om de trofee “**Retailer of the year 2015**” in de wacht te slepen. Deze prijs wordt jaarlijks uitgereikt door het retailmagazine Gondola. Delhaize kreeg de prijs omwille van haar geslaagde transformatieplan maar ook omdat Delhaize er volgens Gondola in slaagt om zichzelf steeds opnieuw uit te vinden onder andere door een zeer succesvolle marketingstrategie (Gondola, 2015b).

Tot slot is het nog interessant te vermelden dat Delhaize op 24 juni 2015 een **intentie tot fusie met Royal Ahold** (het moederbedrijf van Albert Heijn) aankondigde (De Redactie, 2015). Momenteel worden de nodige stappen ondernomen om deze fusie¹ te voltooien. Wanneer de fusie afgerond is, zullen Delhaize en Albert Heijn één grote familie vormen met 6500 winkels wereldwijd en 375 000 personeelsleden (Het Nieuwsblad, 2015). De fusie verloopt echter niet zonder problemen. De Mededingingsautoriteit heeft immers beslist dat de nieuwe holding enkele winkels zou moeten verkopen omdat ze anders te dominant zou worden op sommige plekken waardoor er geen eerlijke concurrentie meer mogelijk zou zijn. Deze beslissing leidde tot stakingen bij enkele Albert Heijnwinkels.

¹De lezer die gedetailleerde informatie wenst over deze fusie kan het Verslag van de Commissaris aangaande het gemeenschappelijk voorstel tot grensoverschrijdende fusie door overneming van Delhaize Groep NV door Koninklijke Ahold N.V. (Deloitte, 2016) raadplegen.

D.2 Managementstructuur

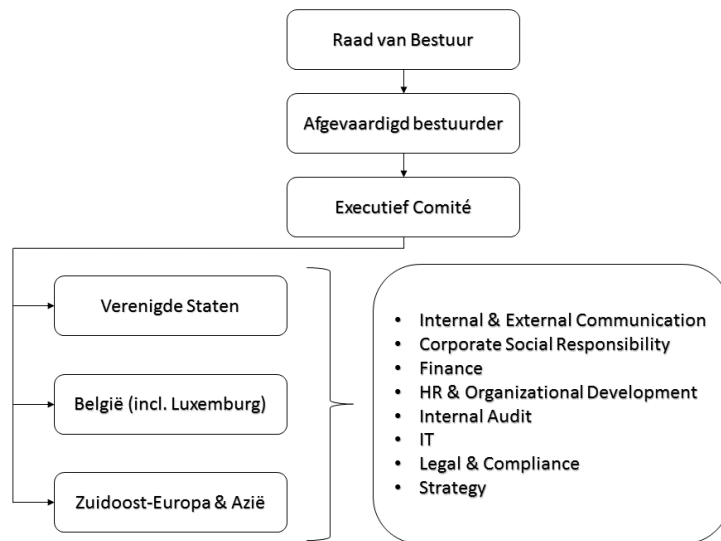
Zoals in de vorige sectie reeds vermeld werd, is Delhaize een internationale speler die op drie verschillende continenten actief is. Het leiden van een dergelijke multinational is dan ook geen sinecure. Hieronder volgt een kort overzicht van de managementstructuur aan de top van Delhaize zodat het voor de lezer duidelijk is hoe de Delhaize Groep als geheel geleid wordt.

Het topmanagement bestaat uit de Raad van Bestuur en het Executief Comité. Er is ook een **Afgevaardigd Bestuurder** om de link tussen deze twee entiteiten te verzekeren. De **Raad van Bestuur** houdt zich bezig met het goedkeuren van de strategie, het budget en de investeringen van Delhaize Groep, het overzien van het bedrijf, het aanduiden van de Afgevaardigd Bestuurder en de leden van het Executief Comité en het vastleggen van hun vergoeding. De Raad van Bestuur bestaat momenteel uit elf personen² met zeer diverse achtergronden en competenties.

Het **Executief Comité**, doet strategische voorstellen aan de Raad van Bestuur, houdt toezicht op de operationele activiteiten en analyseert de resultaten van de Delhaize Groep. Momenteel is Frans Muller voorzitter van het Executief Comité en CEO van de Delhaize Groep. In het Executief Comité wordt hij bijgestaan door Pierre Bouchut (Chief Financial Officer), Marc Croenen (Chief Human Resources Officer), Kevin Holt (CEO Delhaize America) en Kostas Macheras (CEO Zuid-Oost Europa). De CEO van Delhaize België en Luxemburg is Denis Knoops.

Figuur D.1 geeft duidelijk weer dat de Raad van Bestuur en het Executief Comité verantwoordelijk zijn voor de Delhaize Groep. Voor het dagdagelijkse bestuur is er echter nood aan een aparte managementstructuur per regio (Verenigde Staten, België en Zuid-Oost Europa & Azië) die dan aan de Raad van Bestuur en het Executief Comité rapporteert. De verantwoordelijkheden worden verder ook opgedeeld per departement, dit wordt duidelijk weergegeven in het rechterdeel van de figuur.

²De namen van deze bestuursleden zijn beschikbaar op de website van de Delhaize Groep (Delhaize Groep, 2015c).



Figuur D.1: Overzicht managementstructuur Delhaize Groep

D.3 Winkelconcepten

Delhaize beschikt over een aantal verschillende winkelformules (Delhaize Groep, 2014b). Hiermee proberen ze zo goed mogelijk aan de noden van de klanten tegemoet te komen. In deze sectie geven we een kort overzicht. We willen vooral wijzen op het verschil tussen de Delhaize-winkels die behoren tot de Delhaize Groep en de zelfstandige Delhaize-winkels (via franchising³). Delhaize Watersportbaan is een Delhaize supermarkt die in eigen beheer wordt uitgebaat door de Delhaize Groep.

- **Delhaize supermarkten:** Supermarkt die het volledige Delhaize-assortiment aanbiedt en door Delhaize zelf wordt uitgebaat. Deze supermarkten hebben een gemiddelde oppervlakte van 1800 m^2 tot 2000 m^2 .
- **AD Delhaize:** Delhaize-winkel die door een zelfstandige uitgebaat wordt. De zelfstandige uitbaters van deze winkels kunnen niet alleen beroep doen op een naam die garant

³**Franchising** (definitie overgenomen van website MKB Servicedesk (2013)): een overeenkomst tussen 2 partijen: (1) De franchisegever, de grote organisatie (eigenaar van de formule), (2) De franchisenemer, de gebruiker van de formule. De franchisegever geeft de franchisenemer het recht om tegen een bepaalde vergoeding een onderneming met dezelfde handelsnaam te exploiteren. Het franchisebedrijf is eigendom van de franchisenemer.

staat voor kwaliteit, maar krijgen ook de steun van Delhaize op het gebied van know-how, logistiek, informaticaondersteuning, reclamecommunicatie en instrumenten voor klantencontacten, zoals de plus-kaart. De oppervlakte van deze supermarkten bedraagt gemiddeld 1200 m².

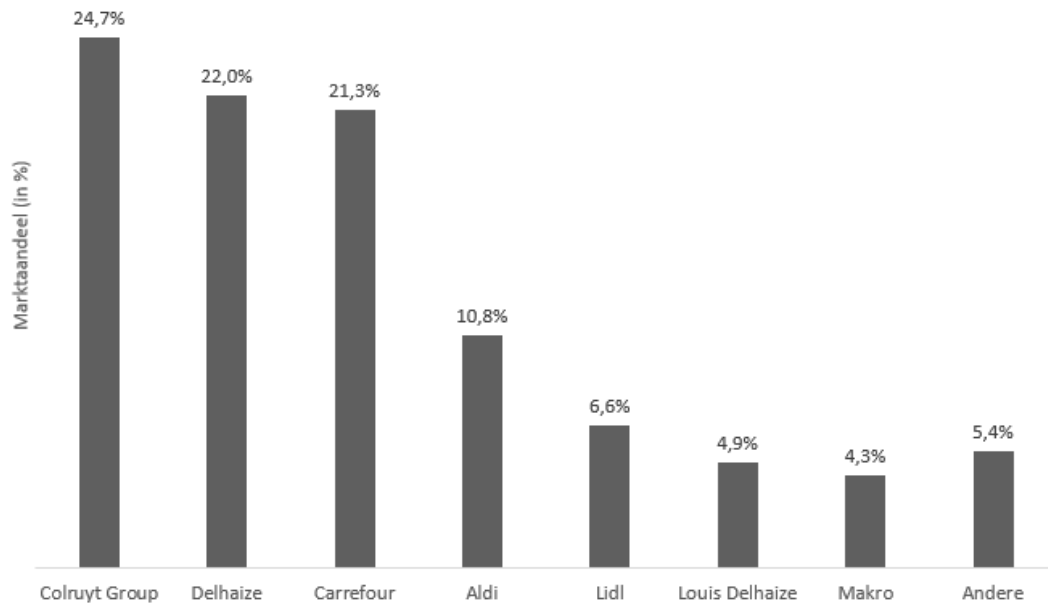
- **City Delhaize:** Een City Delhaize is gevestigd op een strategische plaats in de stad en richt zich vooral tot mensen die in de buurt werken en wonen. Men reserveert meer dan 50 % van de winkeloppervlakte voor verse producten.
- **Proxy Delhaize:** Met deze winkelformule biedt Delhaize een heuse buurtsupermarkt aan die inspelt op de behoeften van de consument: comfortabel winkelen, flexibiliteit, kwaliteitsaanbod van voedingsproducten en uiteraard nabijheid. Deze winkels worden ook uitgbaat door zelfstandigen waarmee op een gelijkaardige manier wordt samengewerkt als met de uitbaters van een AD Delhaize winkel.
- **Shop & Go:** De Shop & Go's zijn winkels die gevestigd zijn op plaatsen waar er veel volk passeert. Ze liggen aan autosnelwegen of in drukke winkelstraten, erg handig voor de snelle boodschappen. Bovendien hebben deze winkels ruime openingsuren, zodat je ook op minder voor de hand liggende momenten je boodschappen kunt doen.
- **Tom&Co:** Tom&Co is het dierenwinkelconcept van Delhaize. Je vindt er meer dan 5.000 producten om je favoriete huisdier te voeden, te verzorgen en te verwennen. Bovendien kan je bij Tom&Co ook vissen, vogels en knaagdieren kopen.
- **Caddy Home:** Service die het mogelijk maakt om Delhaize-producten te bestellen via internet, telefoon of fax en deze bij u thuis te laten leveren.
- **Red Market:** In 2009 startte Delhaize met het discountconcept Red Market. Red Market wordt getypeerd door 100% self-scanning, een aanschuifstelsel in één enkele rij en ruime openingsuren. Momenteel zijn er een dertiental Red Markets in België (3 in Vlaanderen en 10 in Wallonië). De Red Market winkels maken echter al jaren verlies. Dit is vooral te wijten aan de grote concurrentie met andere discounters zoals Aldi, Lidl en Colruyt. Er zijn dan ook geruchten dat dit winkelconcept in de nabije toekomst stopgezet zal worden.

Delhaize is ook continu bezig met het **optimaliseren van haar winkelformules**. Zo startte Delhaize begin 2014 met het testen van een nieuw winkelconcept waarbij de klant centraal staat. Het kernidee van deze nieuwe generatie winkels is “Goed kopen, goed eten” en dit dankzij een assortiment van de meest verse producten, een warme en menselijke klantenservice en inspirerende producten, steeds in de beste prijs-/kwaliteitverhouding (Delhaize Groep, 2014a). Dergelijke initiatieven tonen aan dat Delhaize wel degelijk constant bezig is met zichzelf opnieuw uit te vinden.

D.4 Concurrentie in België

Delhaize is natuurlijk niet de enige food retailer in België. De Belgische markt wordt gekenmerkt door een sterke concurrentie, wat Delhaize de laatste jaren aan den lijve heeft ondervonden. Gondola publiceert jaarlijks een Gondola Retail Scan, dit is een soort poster die een globaal overzicht tracht te geven van de Belgische food retailmarkt. Onderstaande bevindingen zijn gebaseerd op de Gondola Retail Scan 2015 (Gondola, 2015a).

Er zijn **drie grote spelers** op de Belgische markt: Colruyt Group, Delhaize en Carrefour. Hiernaast heb je de **hard discounters** (Aldi en Lidl) en nog **een aantal kleinere ketens** (Louis Delhaize, Makro, Albert Heijn, ...). Figuur D.2 geeft de verhoudingen tussen deze verschillende food retailers weer op basis van hun marktaandeel. Dit marktaandeel werd berekend op basis van de gerealiseerde omzet tijdens 2014. Het valt meteen op dat Colruyt Group (24,7%) de grootste speler is, op korte afstand gevolgd door Delhaize (22,0%) en Carrefour (21,3%). Delhaize is de enige van de drie grote spelers die marktaandeel verloor in vergelijking met 2013. Dit wijst erop dat Delhaize inderdaad actie moest ondernemen (cfr. supra: herstructurerings- en besparingsplan) om haar positie ten opzichte van de concurrentie te verbeteren. Verder doen vooral de hard discounters (Aldi en Lidl) het goed. Zij realiseerden beiden een omzetsijging van ongeveer 3% ten opzichte van 2013. Albert Heijn, de Nederlandse keten die in 2011 haar intrede maakte op de Belgische markt, haalt momenteel een marktaandeel van 2%.



Figuur D.2: Marktaandeel food retailers op de Belgische markt

D.5 Feiten en cijfers

Om de lezer wat voeling te laten krijgen met de evolutie die Delhaize doormaakte en een objectieve kijk te bieden op de huidige situatie zijn in deze sectie een aantal interessante feiten en cijfers opgenomen. De cijfers zijn overgenomen van Delhaize's eigen website (Delhaize Groep, 2015b) en het jaarverslag van 2014⁴ (Delhaize Groep, 2015a).

Delhaize heeft momenteel vestigingen in 7 landen, verspreid over 3 continenten. Eind 2014 waren er 158.000 medewerkers, wat overeenstemt met 112.000 voltijdse equivalenten. De opbrengsten voor 2014 bedroegen € 21,4 miljard, waarvan 63% gegeneerd in de Verenigde Staten, 23% in België en 14% in de andere landen waar Delhaize actief is. De operationele winst was € 762 miljoen en de vrije kasstroom uit operaties € 757 miljoen.

Evolutie aantal winkels

Tabel D.1 geeft een overzicht van de evolutie van het **aantal winkels** in de landen waar Delhaize actief was gedurende de periode 2007-2014. Opvallend hierbij is dat de Verenigde

⁴Delhaize publiceert haar jaarverslag typisch eind april/begin mei van het volgende jaar. Aangezien de cijfers voor 2015 op het moment van dit schrijven nog niet beschikbaar waren, hebben we ons gebaseerd op de cijfers van 2014. De jaarverslagen van Delhaize kunnen online geraadpleegd worden.

Staten (en niet België zoals velen denken) duidelijk de grootste markt is voor de Delhaize Groep. Het aantal winkels daalt de laatste jaren echter in de VS. In de andere landen waar Delhaize actief is, is er wel nog een duidelijke groei merkbaar.

Land	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007
Verenigde Staten	1295	1298	1308	1405	1398	1395	1380	1360
België en G.H. Luxemburg	880	852	840	821	805	792	771	734
Griekenland	308	281	268	251	223	216	201	159
Roemenië	410	296	193	105	72	51	40	22
Indonesië	122	117	103	89	73	66	63	56
Servië	387	381	363	366	0	0	0	0
Totaal	3402	3225	3075	3037	2571	2520	2455	2331

Tabel D.1: Overzicht aantal winkels Delhaize wereldwijd

Evolutie financiële ratio's

Tabel D.2 geeft een aantal **financiële ratio's** weer die telkens uitgedrukt worden per aandeel (eind 2014 waren er ongeveer 100 miljoen uitstaande aandelen van Delhaize). Uit deze tabel kan heel wat nuttige informatie gehaald worden met betrekking tot de prestaties van de onderneming en het vertrouwen van de beurs in de onderneming.

Een eerste zaak die opvalt is de dalende **nettowinst** gedurende de laatste jaren. De dalende nettowinst voor 2014 wordt voornamelijk verklaard door de stakingen en deflatie. Indien de lezer beschikt over de nodige financiële kennis weet hij/zij echter dat een dalende nettowinst niet per se wijst op problemen. Winst is immers het positieve verschil tussen opbrengsten en kosten (Ooghe *et al.*, 2012). Hierdoor is het sterk afhankelijk van bepaalde beslissingen die een grote invloed hebben op deze componenten. Veel bedrijven maken bijvoorbeeld extra kosten om de winst te beperken en zo minder belastingen te moeten betalen.

Een veel betere ratio om een onderneming te beoordelen is de **vrije kasstroom die ze genereert uit haar operaties**. Een positieve kasstroom wijst erop dat er geld gegeneerd wordt met de operaties van het bedrijf. Voor Delhaize bestaan de operaties (simplistisch uitgedrukt) uit de aan- en verkoop van goederen. Een positieve kasstroom uit operaties is

zeer belangrijk voor een bedrijf want het geld dat hier gegenereerd wordt, kan bijvoorbeeld gebruikt worden om verder te investeren in het bedrijf. Het wijst er ook op dat het bedrijf op de lange termijn kan blijven voortbestaan. Negatieve kasstromen uit operaties zijn tijdens de opstartfase niet abnormaal. Ook tijdens een (economische) crisis kan het zijn dat de kasstroom uit operaties één of enkele jaren negatief is. Voor een bedrijf dat echter jaren aan een stuk negatieve kasstromen uit operaties rapporteert, is de kans zeer groot dat dit bedrijf vroeg of laat (en eerder vroeg dan laat) failliet gaat.

De cijfers die in de tabel opgenomen zijn, zijn echter cijfers voor de totale **vrije kasstroom**. Deze vrije kasstroom is de beschikbare kasstroom na investeringen. Bedrijven die over een positieve vrije kasstroom beschikken, zijn in staat om hun financiële verplichtingen (zoals het afbetalen van schulden) op korte termijn na te komen en hebben nog ruimte om investeringen te doen. De cijfers van Delhaize zien er vrij goed uit. In 2011 hadden ze wel een negatieve kasstroom, die voornamelijk te wijten was aan het feit dat men gedurende dat jaar redelijk wat geld geïnvesteerd had in bedrijfsovernames. Deze negatieve kasstroom was dus zeker geen probleem, want de kasstroom uit operaties was nog steeds positief. In de jaren na 2011 zien we een duidelijk positieve vrije kasstroom per aandeel.

Ook het **brutodividend** per aandeel is een interessante ratio om eens te bestuderen. Wanneer je de evolutie van het uitgekeerde dividend van een bedrijf analyseert, ontdek je meestal een consistent beleid. Afhankelijk van de resultaten en het beschikbare geld wordt dit beleid af en toe aangepast. De cijfers van Delhaize zijn hiervan een duidelijk voorbeeld. In de periode 2007-2011 zien we een geleidelijke stijging van het brutodividend. In 2012 is er een abrupte daling. Deze is meer dan waarschijnlijk te wijten aan de negatieve vrije kasstroom van 2011. In 2011 had men immers veel geld geïnvesteerd in bedrijfsovernames. In 2012 besliste men om het dividend te laten zakken omdat men simpelweg minder geld ter beschikking had om dividenden uit te keren. Vanaf 2012 was de vrije kasstroom weer positief en in 2013 & 2014 werd het dividend dan ook weer opgetrokken.

De **aandelenkoers** van een bedrijf wordt dikwijls gezien als een maatstaf voor het vertrouwen van de markt/beleggers in een bepaald bedrijf. Deze koers kan zeer volatiel zijn en het is dan ook niet altijd even gemakkelijk om bepaalde stijgingen/dalingen te verklaren. Onderstaande gegevens zijn dan ook enkel opgenomen om een globaal beeld van de evolutie van de aande-

lenprijs te geven. De geïnteresseerde lezer die op zoek is naar verklaringen voor de evoluties wordt doorverwezen naar de toepasselijke bronnen zoals jaarverslagen, marktonderzoeken, financiële tijdschriften, ...

Data per aandeel (in €)	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007
Nettowinst Delhaize Groep	0,88	1,77	1,04	4,69	5,73	5,16	4,70	4,20
Vrije kasstroom	7,46	6,62	7,66	-2,28	6,64	6,26	1,63	3,35
Brutodividend	1,60	1,56	1,40	1,76	1,72	1,60	1,48	1,44
Aandelenkoers (jaareinde)	60,43	43,20	30,25	43,41	55,27	53,62	44,20	60,20

Tabel D.2: Informatie per aandeel voor Delhaize

Bovenstaande feiten en cijfers zouden moeten volstaan om een globaal beeld te krijgen op de huidige situatie van Delhaize. Ondanks de verhoogde concurrentie, het harde economische klimaat en de kostenhandicap op het vlak van loon- en arbeidsvoorwaarden waardoor een herstructurerings- en besparingsplan noodzakelijk was, kon Delhaize de laatste jaren toch vrij goede (financiële) resultaten voorleggen. De lezer die zich hier nog verder in wil verdiepen wordt doorverwezen naar externe bronnen⁵.

⁵Online is er heel wat informatie te vinden zoals bijvoorbeeld de jaarverslagen van Delhaize. Informatie in verband met het interpreteren van financiële ratio's kan onder meer geraadpleegd worden in het boek *Financiële analyse van de onderneming* (Ooghe et al., 2012).

Bijlage E

Vragenlijst

Introductie

Deze bevraging wordt uitgevoerd door Olivier Decapmaker (2de master Handelsingenieur) in het kader van de thesis *Optimalisering van de personeelsplanning in de retailsector*. Deze thesis wordt uitgevoerd aan de vakgroep Beleidsinformatica en Operationeel Beheer van de Universiteit Gent en wordt ondersteund door prof. dr. Maenhout.

De vragenlijst bevat vragen in verband met het **opstellen van de personeelsplanning in uw bedrijf**. Bij sommige vragen kunt u slechts 1 antwoord aanduiden, bij andere is het mogelijk om meerdere antwoorden aan te duiden. Er zijn ook open vragen waarbij u zelf uw antwoord kan formuleren. Probeer hierbij duidelijk, maar bondig te antwoorden. De vragenlijst bevat **19 vragen** en het invullen ervan duurt ongeveer **5-10 min**. U bent niet verplicht om alle vragen te beantwoorden (Enkel de eerste 3 vragen zijn verplicht, maar u wordt natuurlijk verzocht om zoveel mogelijk/alle vragen in te vullen). De vragenlijst is volledig **anoniem**.

De antwoorden zullen vergeleken worden met andere bedrijven uit de retailsector en de bedoeling is om bepaalde conclusies te trekken die gelden voor de volledige sector. Resultaten zullen beschikbaar zijn in de thesis *Optimalisering van de personeelsplanning in de retailsector* vanaf juni 2016. Indien u een verslag van de resultaten wenst, kunt u uw e-mailadres invullen bij de laatste vraag.

Vragen

1. Tot welke categorie binnen de retail behoort uw bedrijf?¹ Antwoordmogelijkheden: mode, electro, voeding, doe-het-zelfzaak, over de toonbank (winkel waarbij producten over de toonbank aan klanten verkocht worden), andere (duidt deze optie aan indien u uw bedrijf niet kan identificeren met één van de voorgaande antwoordmogelijkheden). **U mag meerdere antwoorden aanduiden.** (Indien u vindt dat uw bedrijf tot meerdere categorieën behoort)

- Mode
- Electro
- Voeding
- Doe-het-zelfzaak
- Over de toonbank
- Andere

Opmerking: Vraag 1b wordt enkel getoond wanneer bij vraag 1 “Andere” werd aangeduid.

1b. Hoe zou u de categorie binnen de retail waartoe uw bedrijf behoort dan wel omschrijven?

Open vraag.

2. Voor hoeveel werknemers wordt de personeelsplanning opgesteld? (Antwoord met een cijfer vb. 20)

3. Welke planning tools gebruikt uw bedrijf om de personeelsplanning op te stellen? **1**

Antwoord aanduiden.

- Pen & papier
- Excel
- Andere softwareprogramma's

¹Deze vraag werd opgenomen op aanvraag van Prottime. De indeling in categorieën werd van hen overgenomen.

Opmerking: Vraag 3b wordt enkel getoond wanneer bij vraag 3 “Andere softwareprogramma’s” werd aangeduid.

3b. Welke softwareprogramma’s gebruikt uw bedrijf bij het opstellen van de personeelsplanning? **Open vraag.**

4. Waarom gebruikt u deze planning tool(s)? **Open vraag.**

5. Hoeveel uur wordt er per week besteed aan het opstellen van de personeelsplanning? (Antwoord met een cijfer vb. 5)

6. Werkt uw bedrijf met 1 shift of met meerdere shifts? **1 Antwoord aanduiden.**

- 1 shift
- Meerdere shifts

7. Gebeurt het opstellen van de personeelsplanning gecentraliseerd (voor alle werknemers tegelijk) of gedecentraliseerd (aparte personeelsplanning per afdeling)? **1 Antwoord aanduiden.**

- Gecentraliseerd
- Gedecentraliseerd

8. Wordt er rekening gehouden met de vaardigheden (skills) en/of opleiding (education) van de werknemers bij het toewijzen van werknemers aan bepaalde taken? **1 Antwoord aanduiden.**

- Vaardigheden en opleiding
- Enkel vaardigheden
- Enkel opleiding
- Geen van beide

9. Hoe worden vaardigheden (skills) gedefinieerd? (**Hiërarchisch:** hoger gerangschikte werknemers kunnen alle taken van lager gerangschikte werknemers uitvoeren, **Vast:** taak X vereist vaardigheid Y en enkel werknemers met vaardigheid Y kunnen taak X uitvoeren) **U mag meerdere antwoorden aanduiden.**

- Hiërarchisch
 - Vast
 - Niet strikt gedefinieerd
10. Wordt er bij het opstellen van de personeelsplanning reeds bepaald welke specifieke taken een werknemer zal moeten uitvoeren tijdens een bepaalde shift? **1 Antwoord aanduiden.**
- Ja
 - Nee
 - Voor sommige werknemers wel, voor andere niet
11. Is het mogelijk voor werknemers om bepaalde preferenties te uiten? **U mag meerdere antwoorden aanduiden.**
- Nee, onmogelijk.
 - Ja, voor bepaalde taken.
 - Ja, voor bepaalde shifts.
 - Ja, voor vakantiedagen.
 - Ja, voor collega's waar men mee wil samenwerken.
12. Gebruikt uw onderneming vaste shifts (werknemers werken iedere dag gedurende dezelfde uren) of flexibele shifts (werkuren van de werknemers verschillen van dag tot dag)? **1 Antwoord aanduiden.**
- Vaste shifts
 - Flexibele shifts
13. Gebruikt u **cyclische personeelsroosters** (er zit een bepaald patroon in de roosters dat telkens terugkomt vb. 4 mogelijke weekroosters A, B, C, D voor werknemers, die voor iedere werknemer in een bepaalde volgorde herhaald worden) of **acyclische personeelsroosters** (geen duidelijk patroon)? **1 Antwoord aanduiden.**

- Cyclische personeelsroosters
- Acyclische personeelsroosters

14. Is het mogelijk om overuren te werken? **U mag meerdere antwoorden aanduiden.**

- Nee, niet mogelijk.
- Ja, maar deze worden gelimiteerd per dag.
- Ja, maar deze worden gelimiteerd per week.
- Ja, maar deze worden gelimiteerd per maand.
- Ja, maar deze worden gelimiteerd per jaar.

15. Maakt u gebruik van part-time personeel? **1 Antwoord aanduiden.**

- Ja
- Nee

Opmerking: Vraag 15b wordt enkel getoond wanneer bij vraag 15 “Ja” werd aangeduid.

15b. Gebruikt u **vaste werkroosters** (iedere week ongeveer hetzelfde werkrooster) of **variabele werkroosters** (zeer flexibel werkrooster om afwezigheden en dergelijke van andere werknemers op te vangen) **voor uw part-time personeel? 1 Antwoord aanduiden.**

- Vaste werkroosters
- Variabele werkroosters

Opmerking: Vraag 15c wordt enkel getoond wanneer bij vraag 15 “Ja” werd aangeduid.

15c. Is uw part-time personeel vast in dienst of werken deze op interimbasis? **1 Antwoord aanduiden.**

- Vast
- Interim
- Beide

16. Wat zijn de belangrijkste problemen die uw bedrijf ervaart met betrekking tot de personeelsplanning? **Open vraag.**

17. Welke trends, (technologische) ontwikkelingen, ... kunnen volgens u voor veranderingen/verbeteringen zorgen in de manier waarop de personeelsplanning opgesteld wordt? **Open vraag.**

18. Wat zijn de toekomstige objectieven van uw bedrijf met betrekking tot de personeelsplanning? **Open vraag.**

19. Zijn er binnen uw bedrijf investeringen gepland (binnen het jaar) om het opstellen van de personeelsplanning te verbeteren? **1 Antwoord aanduiden.**

- Ja
- Nee

20. Indien u een verslag wenst van de resultaten van dit onderzoek, vul dan hier het e-mailadres in waar dit verslag naartoe gestuurd mag worden. **Niet verplicht.**

Bibliografie

- S. Agrali, Z. Taskin & T. Unal (2016). Employee scheduling in service industries with flexible employee availability and demand. *Omega*.
- Y. Aijin, C. Liming & W. Xiaoping (2005). A Game-theory-based Multi-agent Interaction Model. *Computer Engineering*, 31(6):50–51.
- S. Al-Yakoob & H. Sherali (2007). Mixed-integer programming models for an employee scheduling problem with multiple shifts and work locations. *Annals of Operations Research*, 155(1):119–142.
- H. Alfares (2004). Survey, categorization and comparison of recent tour scheduling literature. *Annals of Operations Research*, 127:145–175.
- C. Anderson & N. Franks (2001). Teams in animal societies. *Behavioural Ecology*, 12(5):534–540.
- Axis Communications (2014). De belangrijkste retailtrends voor 2015. Geraadpleegd op 31 oktober 2015, via: http://www.axis.com/files/press_releases/nl/pr_3681_nl_nl_20141105.pdf.
- K. Baker (1976). Workforce allocation in cyclical scheduling problems. *Operational Research Quarterly*, 27:155–167.
- D. Ballard, L. Barber & M. Grawitch (2010). Employee resource allocation in a healthy workplace. *American Psychological Association*, 4(7).
- D. Bandyopadhyay & J. Sen (2011). Internet of Things: Applications and Challenges in Technology and Standardization. *Springer*, 58(1):49–69.

- A. Barua, D. Mani & R. Mukherjee (2012). Measuring the business impacts of effective data. *University of Texas, Austin*.
- W. Baumol & R. Bushnell (1967). Error produced by linearization in mathematical programming. *Econometrica*, 35:447–471.
- S. Bechtold, M. Brusco & S. M.J. (1991). A comparative-evaluation of labour tour scheduling methods. *Decision Sciences*, 22:683–699.
- J. Beliën, B. Hoskens & J. Van den Bergh (2013). An empirical study on human resource planning in Belgian production companies. *HUB Research Paper*.
- M. Berglund & J. Karlton (2007). Human, technological and organizational aspects influencing the production scheduling process. *International Journal of Production Economics*, 110(1-2):160–174.
- I. Blochlinger (2004). Modeling staff scheduling problems. A tutorial. *European Journal of Operational Research*, 158(3):533–543.
- Bos, S. (2016). Detailhandel. Geraadpleegd op 22 april 2016, via: <https://www.finler.nl/detailhandel/>.
- E. Burke, P. De Causmaecker, G. Vanden Berghe & H. Van Landeghem (2004). The state of the art of nurse rostering. *Journal of Scheduling*, 7:441–499.
- Caddy Home (2015). Wie zijn wij? Geraadpleegd op 12 oktober 2015, via: https://www.caddyhome.be/general/clientservice/whois/_nl/index.asp?language=8.
- A. Campbell & A. S. Wu (2007). Learning and exploiting knowledge in multi-agent task allocation problems. In *Proceedings of the 9th Annual Conference Companion on Genetic and Evolutionary Computation, GECCO '07*, pp. 2637–2642. ACM, New York, NY, USA. ISBN 978-1-59593-698-1. URL <http://doi.acm.org/10.1145/1274000.1274044>.
- G. Campbell & M. Diaby (2002). Development and evaluation of an assignment heuristic for allocating cross-trained workers. *European Journal of Operational Research*, 138:9–20.
- I. Castillo, T. Joro & L. Y.Y. (2009). Workforce scheduling with multiple objectives. *European Journal of Operational Research*, 196:162–170.

- M.-K. Chang, W. Cheung, C.-H. Cheng & J. Yeung (2008). Understanding ERP system adoption from the user's perspective. *International Journal of Production Economics*, 113(2):928–942.
- N. Chapados, M. Joliveau & L.-M. Rousseau (2011). Retail store workforce scheduling by expected operating income maximization. *Lecture Notes in Computer Science*, 6697:53–58.
- A. Chapman, R. Micillo, R. Kota & N. Jennings (2009). Decentralised dynamic task allocation: A practical game-theoretic approach. In *Proceedings of the 8th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, AAMAS '09, pp. 915–922. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, Richland, SC. ISBN 978-0-9817381-7-8. URL <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1558109.1558139>.
- F. Charvat (1961). *Supermarketing*. The Macmillan Company, New York.
- H. Chen, C. Clifford Defee, B. Gibson & J. Hanna (2013). *The Definitive Guide to Integrated Supply Chain Management*. Pearson FT Press.
- Y. Chevaleyre, P. Dunne, U. Endriss, J. Lang, M. Lemaitre, N. Maudet, P. J., P. S., J. Rodriguez-Aguilar & P. Sousa (2006). Issues in Multiagent Resource Allocation. *Informatica*, 20:3–31.
- S. Chopra & P. Meindl (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson, zesde edition.
- E. Collet, P. Dumont & M. Eyskens (2003). *Delhaize "De Leeuw": Kruideniers sinds 1867*. Lannoo, Tielt.
- Comeos (2014). In de handel werken vooral vrouwen met bediendencontract, zowel deeltijds als voltijds. Geraadpleegd op 21 april 2016, via: <http://www.comeos.be/menupage.asp?id=9&idTools=9&lng=nl&grape=32>.
- N. Coupain & S. Jaumain (2005). *Distributie in België: Dertig jaar omwentelingen*. Editions Racine, Brussel.
- E. Cundiff & R. Still (1964). *Basic marketing: concepts, environment and decisions*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs (N.J.), eerste edition.

- G. Dantzig (1954). A comment on edie's traffic delay at toll booths. *Oper. Res.*, 2:107–138.
- G. Dantzig (1987). Origins of the simplex method. *Systems Optimization Laboratory*, pp. 1–17.
- De Brouwer, B. (2015). Gesprek over personeelsplanning bij Delhaize Watersportbaan. 1 oktober 2015.
- P. De Causmaecker, P. Demeester, G. Vanden Berghe & B. Verbeke (2004). Analysis of real-world scheduling problems. *International Conference PATAT*.
- J. De Houwer, D. Barnes-Holmes & A. Moors (2013). What is learning? on the nature and merits of a functional definition of learning. *Psychonomic Bulletin and Review*, 20(4):631–642.
- P. De Pelsmacker & P. Van Kenhove (2014). *Marktonderzoek: Methoden en toepassingen*. Pearson Benelux, vierde edition.
- De Redactie (2014). Sanering Delhaize. Geraadpleegd op 27 februari 2016, via: <http://deredactie.be/cm/vrtnieuws/economie/2.33915>.
- De Redactie (2015). Fusie Ahold Delhaize. Geraadpleegd op 27 februari 2016, via: <http://deredactie.be/cm/vrtnieuws/economie/2.39675>.
- J. De Varo & O. Gurtler (2016). Strategic shirking: a theoretical analysis of multitasking and specialization. *International Economic Review*, 57(2):507–532.
- Delhaize Groep (2012). Onze geschiedenis. Geraadpleegd op 12 oktober 2015, via: <https://nl.delhaize.be/nl-be/over-delhaize/feiten-en-cijfers/onze-geschiedenis>.
- Delhaize Groep (2014a). Delhaize onthult haar nieuwste generatie supermarkten. Geraadpleegd op 29 februari 2016, via: <https://nl.delhaize.be/-/media/files/press/media%20library/articles/pdf/nl/2014/2014-04/2014-04-22-delhaize-onthult-haar-nieuwste-generatie-supermarkten.pdf>.
- Delhaize Groep (2014b). Onze winkelformules. Geraadpleegd op 12 oktober 2015, via: <http://nl.delhaize.be/nl-be/onze-winkels/onze-winkelformules>.

- Delhaize Groep (2015a). Jaarverslag 2014. Geraadpleegd op 20 oktober 2015, via: http://annualreport.delhaizegroup.com/wp-content/uploads/2015/04/DG_AR2014_UK_fullannualreport.pdf.pdf.
- Delhaize Groep (2015b). Kerncijfers. Geraadpleegd op 20 oktober 2015, via: <http://www.delhaizegroup.com/nl/BeleggersCenter/Financi%C3%ABleInformatie/Kerncijfers.aspx>.
- Delhaize Groep (2015c). Structuur. Geraadpleegd op 13 oktober 2015, via: <http://www.delhaizegroup.com/nl/CorporateGovernance/Structuur.aspx>.
- Deloitte (2015). Global powers of retailing 2015. Geraadpleegd op 31 oktober 2015, via: <http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Consumer-Business/gx-cb-global-powers-of-retailing.pdf>.
- Deloitte (2016). Verslag van de Commissaris aangaande het gemeenschappelijk voorstel tot grensoverschrijdende fusie door overneming van Delhaize Groep NV door Koninklijke Ahold N.V. Geraadpleegd op 27 februari 2016, via: <http://www.delhaizegroup.com/Portals/0/Documents/AholdDelhaize/Deloitte%20report%20-%20D.pdf>.
- M. Dumas, M. La Rosa, M. J. & H. Reijers (2013). *Fundamentals of business process management*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Ecommerce Europe (2015). European b2c e-commerce 2015 report. Geraadpleegd op 3 november 2015, via: <http://nrw.nl/wp-content/uploads/2015/07/European-b2c-e-commerce-report-2015.pdf>.
- L. Edie (1954). Traffic delays at toll booths. *J. Oper. Res. Soc. Am.*, 2(2):107–138.
- H. Eiselt & V. Marianov (2008). Employee positioning and workload allocation. *Computers & Operations Research*, 35:513–524.
- P. Ellickson (2011). The Evolution of the Supermarket Industry: From A&P to Wal-Mart. *Simon School Working Papers Series*.
- A. Ernst, H. Jiang & M. Krishnamoorthy (2006). Exact solutions to task allocation problems. *Management Science*, 52(10):1634–1646.

- A. Ernst, H. Jiang, M. Krishnamoorthy, B. Owens & D. Sier (2004a). An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering. *Annals of Operations Research*, 127:21–144.
- A. Ernst, H. Jiang, M. Krishnamoorthy & D. Sier (2004b). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research*, 153:3–27.
- Europese Commissie (2013). Een Europees actieplan inzake detailhandel. *Publicatie van de Europese Commissie*, pp. 1–22.
- Europese Commissie (2015). Retail services. Geraadpleegd op 2 november 2015, via: http://ec.europa.eu/growth/single-market/services/retail/index_en.htm.
- Eurostat (2015). Employment statistics. Geraadpleegd op 21 november 2015, via: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Employment_statistics.
- P. Eveborn & M. Rönnqvist (2004). Scheduler- a system for staff planning. *Annals of Operations Research*, 128:21–45.
- N. Franks (1986). Teams in social insects: group retrieval of prey by army ants (*Eciton burchelli*, Hymenoptera: Formicidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 18(6):425–429.
- W. Fredrick & H. Walberg (1980). Learning as a Function of Time. *The Journal of Educational Research*, 73(4):183–194.
- P. Gemmel, B. Van Looy & V. D. R. (2013). *Service Management: An Integrated Approach*. Pearson, derde edition.
- GfK Group (2015). European retail in 2015. Geraadpleegd op 2 november 2015, via: http://web.gfk-emer.es:2987/GfK_European_Retail_Study_2015.pdf.
- Gondola (2015a). Gondola retail scan 2015. Geraadpleegd op 29 oktober 2015, via: http://www.gondola.be/sites/default/files/scan_0.pdf.
- Gondola (2015b). Waarom delhaize retailer of the year is. Geraadpleegd op 29 februari 2016, via: <http://www.gondola.be/nl/news/retail/waarom-delhaize-retailer-year>.

- Goodell, J. (2016). Inside the Artificial Intelligence Revolution: A Special Report, Pt.1. Geraadpleegd op 1 april 2016, via: <http://www.rollingstone.com/culture/features/inside-the-artificial-intelligence-revolution-a-special-report-20160229>.
- D. Gujarati & D. Porter (2009). *Basic Econometrics*. McGraw-Hill, vijfde edition.
- Het Nieuwsblad (2015). Fusie Delhaize-Ahold: wat gaat er veranderen? Geraadpleegd op 27 februari 2016, via: http://www.nieuwsblad.be/cnt/dmf20150624_01746045.
- R. Hill, W. Griffiths & G. Lim (2011). *Principles of Econometrics*. Wiley, vierde edition.
- F. Hillier & G. Liebermann (2010). *Introduction to Operations Research*. McGraw-Hill, New York, negende edition.
- N. Ho & J. Tay (2005). Evolving dispatching rules for solving the flexible job-shop problem. In *Proceedings of the IEEE congress on evolutionary computing*, pp. 2848–2855. IEEE.
- W. Hopp & M. Spearman (2011). *Factory Physics*. Waveland Press, derde edition.
- Indexmundi (2015). Bnp per hoofd van de bevolking (koopkracht). Geraadpleegd op 2 november 2015, via: <http://www.indexmundi.com/map/?v=67&l=nl>.
- Indigne, K. (2016). Gesprek over personeelsplanning en vragenlijst bij retailbedrijven. 31 maart 2016.
- A. Ingolfsson, A. Haque Md & A. Umnikov (2002). Accounting for time-varying queueing effects in workforce scheduling. *European Journal of Operational Research*, 139(3):585–597.
- O. Jennings, A. Mandelbaum, W. Massey & W. Whitt (1996). Server staffing to meet time-varying demand. *Management Science*, 42(10):1383–1394.
- E. Jensen (2005). *Teaching with the Brain in Mind*. Association for Supervision and Curriculum Deve.
- Jobat (2015). Waarom werken Nederlanders vaker deeltijds? Geraadpleegd op 21 november 2015, via: <http://www.jobat.be/nl/artikels/waarom-werken-nederlanders-vaker-deeltijds/>.

- O. Kabak, F. Uelengin, E. Aktas, S. Onsel & Y. Topcu (2008). Efficient shift scheduling in the retail sector through two-stage optimization. *European Journal of Operational Research*, 184:76–90.
- D. L. Kellogg & S. Walczak (2007). Nurse Scheduling: From Academia to Implementation or Not? *Interfaces*, 37(4):355–369.
- kmo-insider (2015). Tijdelijke medewerkers zijn een vaste waarde binnen kmo's. Geraadpleegd op 21 november 2015, via: <http://www.kmo-insider.biz/nieuws/artikels/tijdelijke-medewerkers-zijn-een-vaste-waarde-binnen-kmo-s>.
- Laloux, F. (2014). *Reinventing Organizations*. Nelson Parker, eerste edition.
- Lijkendijk, G. (2016). Waarom is personeelsplanning zo nuttig en belangrijk? Geraadpleegd op 7 april 2016, via: <http://www.partnerpersoneelsadvies.nl/hrm-vraagbaak-personeelsvraagstukken/personeelsplanning-nut-noodzaak-belang>.
- S. Liu & Y. Zhang (2010). Multi-robot task allocation based on swarm intelligence. *Journal of Jilin University*, 40(1):123–129.
- Madden, K. and Martin, K. (2009). Workforce Scheduling: Managerial Strategies for Driving Down Costs While Escalating Customer Satisfaction. Geraadpleegd op 6 mei 2016, via: http://fm.sap.com/data/UPLOAD/files/Workforce_Scheduling_Management_Strategies_for_Driving_Down_Costs_While_Escalating_Customer_Satisfaction.pdf.
- J. Marden, G. Arslan & J. Shamma (2009). Cooperative Control and Potential Games. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Part B: Cybernetics*, 39(6):1393–1407.
- R. Markin (1968). *The Supermarket: An Analysis of Growth, Development and Change*. Washington State University Press, Pullman.
- Marshoek (2012). Verhoging winkelperformance met lagere loonkosten: fictie of werkelijkheid? *Distrifood*.
- D. Miorandi, S. Sicari, F. De Pellegrini & I. Chlamtac (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Elsevier: Ad Hoc Networks*, 10:1497–1516.

- S. Mirrazavi & H. Beringer (2007). A Web-based workforce management system for Sainsburys Supermarkets ltd. *Annals of Operations Research*, 155:437–457.
- MKB Servicedesk (2013). Wat is franchising? Geraadpleegd op 29 februari 2016, via: <http://www.mkb servicedesk.nl/724/wat-franchising.htm>.
- Z. Mostaph & D. E. K. Mohamed (2011). A Task Allocation ALgorithm for Distributed Systems. *Journal of Theoretical and Application Information Technology*, 33(1):15–21.
- Nillesen, R. (2016). Wat is strategische personeelsplanning. Geraadpleegd op 6 februari 2016, via: <https://www.randstad.nl/werkgevers/onze-hr-diensten/hr-oplossingen/strategische-personeelsplanning/wat-is-strategische-personeelsplanning>.
- V. Nissen & M. Gunther (2010). Automatic generation of optimised working time models in personnel planning. *Lecture Notes in Computer Science*, 6234:384–391.
- H. Ooghe, H. Vander Bauwhede & C. Van Wymeersch (2012). *Handboek financiële analyse van de onderneming. Theorie en toepassing op de jaarrekening volgens Belgian GAAP en IFRS*. Intersentia, vierde edition.
- A. Page, K. T.M. & N. T.J. (2010). Multi-heuristic dynamic task allocation using genetic algorithms in a heterogeneous distributed system. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 70(7):758–766.
- J. Parker (2013). Task-allocation for multi-agent systems in dynamic environments. In *Proceedings of the 12th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pp. 6–10. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. URL <http://www.ifaamas.org/Proceedings/aamas2013/docs/p1445.pdf>.
- R. Pastor & J. Olivella (2008). Selecting and adapting weekly work schedules with working time accounts: a case of a retail clothing chain. *European Journal of Operational Research*, 184:1–12.
- P. Pendharkar (2012). Game Theoretical Applications for Multi-Agent Systems . *Expert Systems with Applications*, 39(1):273–279.
- PwC (2007). Retailing 2015: New frontiers. Geraadpleegd op 31 oktober 2015, via: <https://www.pwc.com/cl/es/publicaciones/assets/retailing2015.pdf>.

- C.-G. Quimper & L.-M. Rousseau (2010). A large neighbourhood search approach to the multi-activity shift scheduling problem. *Journal of Heuristics*, 16:373–392.
- Raet (2016). HR Benchmark Onderzoek 2016. Geraadpleegd op 6 februari 2016, via: https://rapporten.hrpraktijk.nl/sites/default/files/personalpdfs/raet_hr_benchmark_2016_samenvatting_55190fb9.pdf.
- Retail Update (2015). *Retailgids*. EMG Editing Media Group, dertiende edition.
- Retailwatching (2015). De evolutie van retail in tienduizend jaar. Geraadpleegd op 31 oktober 2015, via: http://www.retailwatching.nl/formules/artikel/2bA_PNbsS105pBa0W5J_KA-2/de-evolutie-van-retail-in-tienduizend-jaar.html.
- D. Sarne & S. Kraus (2005). Solving the auction-based task allocation problem in an open environment. In *Proceedings of Twentieth National Conference on Artificial Intelligence*, pp. 164–169. MIT Press. URL <http://jmvidal.cse.sc.edu/library/sarne05a.pdf>.
- sdworx (2014). De wetten van flexibel werken: enkele praktische tips. Geraadpleegd op 2 mei 2016, via: <http://www.sdworx.be/nl-be/sd-worx-r-d/publicaties/nieuws/2014-06-16-flexibel-werken>.
- sdworx (2015). Eenheidsstatuut: wat betekent dit voor uw onderneming? Geraadpleegd op 21 november 2015, via: <http://www.sdworx.be/nl-be/sd-worx-consulting/uitdagingen/eenheidsstatuut>.
- securex (2015). Werknemers houden vast aan job, werkgevers kiezen voor tijdelijke contracten. Geraadpleegd op 21 november 2015, via: <http://press.securex.be/werknemers-houden-vast-aan-job-werkgevers-kiezen-voor-tijdelijke-contracten#>.
- Segers, G. (2016). Gesprek over personeelsplanning en vragenlijst bij retailbedrijven. 31 maart 2016.
- V. Sels, N. Gheysen & M. Vanhoucke (2012). A comparison of priority rules for the job-shop scheduling problem under different flow time- and tardiness-related objective functions. *International Journal of Production Research*, 50(15):4255–4270.
- O. Shehory & S. Kraus (1998). Methods of task allocation via agent coalition formation. *Artificial Intelligence*, 101(1-2):165–200.

- Sherman, P.J. (2015). Better Project Management Through Beta Distribution. Geraadpleegd op 24 november 2015, via: <http://www.isixsigma.com/methodology/project-management/better-project-management-through-beta-distribution/>.
- L. Sieh (1974). *The Structure of Retail trade in West Malaysia*. Universiteit van Malaya, faculteit Economie en Administratie, Kuala Lumpur.
- A. Sigurdadóttir (2011). *Near-optimal staff scheduling using a mixed integer model*. Afstudeerwerk, Reykjavik University, Reykjavik, IJsland.
- Smart Food Shopping (2014). Het Red Market concept. Geraadpleegd op 12 oktober 2015, via: http://www.redmarket.be/nl/red_market_concept.html.
- Spencer, W. M. (2014). What are the differences between heuristics and metaheuristics? Geraadpleegd op 25 februari 2016, via: <https://www.quora.com/What-are-the-differences-between-heuristics-and-metaheuristics>.
- W. Stanton (1975). *Fundamentals of marketing*. McGraw-Hill, New York.
- Statistics Belgium (2013). Arbeidskosten volgens activiteit. Geraadpleegd op 17 december 2015, via: http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/arbeid_leven/lonen/activiteit/.
- W. Stevenson (2011). *Operations Management*. New York: McGraw-Hill Education, elfde edition.
- A. Stroupe, T. Huntsberger, A. Okon, H. Aghazarian & M. Robinson (2005). Behavior-based multi-robot collaboration for autonomous construction tasks. In *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1495–1500. IEEE. ISBN 0-7803-8912-3.
- L. Su-Mei (2011). Using Optimized Support Vector Machine to Perform Satisfaction Analysis for Online Auction Logistic Service. *JDCTA*, 5(4):167–177.
- R. Tedlow (1990). *New and Improved: The Story of Mass Marketing in America*. Basic Books, New York.

- Thomassen, A. (2000). Learning and Forgetting Curves. Geraadpleegd op 6 mei 2016, via: <http://www.orsnz.org.nz/conf33/papers/p63.pdf>.
- G. Thompson (1995). Labor scheduling using npv estimates of the marginal benefit of additional labor capacity. *Journal of Operations Management*, 13:67–86.
- G. Thompson (1998a). Labor Scheduling, Part 1: Forecasting Demand. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, 39(5):22–31.
- G. Thompson (1998b). Labor Scheduling, Part 2: Knowing How Many On-duty Employees to Schedule. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, 39(6):26–37.
- G. Thompson (1999a). Labor Scheduling, Part 3: Developing a Workforce Schedule. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, 40:86–96.
- G. Thompson (1999b). Labor Scheduling, Part 4: Controlling Workforce Schedules in Real Time. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly*, 40:85–96.
- J. Tien & A. Kamiyama (1982). On manpower scheduling algorithms. *Siam Review*, 24:275–287.
- Trends (2014). Delhaize stelt nieuw winkelconcept voor. Geraadpleegd op 12 oktober 2015, via: <http://trends.knack.be/economie/bedrijven/delhaize-stelt-nieuw-winkelconcept-voor/article-normal-217737.html>.
- Trends (2015). Het eenheidsstatuut, één jaar later: 'bedrijven doen meer een beroep op tijdelijke werknemers'. Geraadpleegd op 21 november 2015, via: <http://trends.knack.be/economie/bedrijven/het-eeheidsstatut/article-normal-529961.html>.
- Usmani, F. (2012). Precedence Diagramming Method (Activity on Node Method) in Scheduling. Geraadpleegd op 24 november 2015, via: <http://pmstudycircle.com/2012/07/precedence-diagramming-method-activity-on-node-method-scheduling/>.
- J. Van den Bergh, J. Beliën, P. De Bruecker, E. Demeulemeester & L. De Boeck (2013). Personnel scheduling: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 226:367–385.

- Van Leeuwen, R. (2013). The Internet of Things voor dummies. Geraadpleegd op 20 februari 2016, via: <http://www.mt.nl/332/77427/business/the-internet-of-things-voor-dummies.html>.
- Van Ostaeyen, P. (2016). Gesprek over personeelsplanning bij retailbedrijven. 11 april 2016.
- G. Vanden Berghe (2012). Personnel scheduling: challenging combinatorial optimisation problems with a personnel scheduling component. *International Conference PATAT*.
- M. Vanhoucke (2013). *Project Management with Dynamic Scheduling*. Springer, Berlin Heidelberg, tweede edition.
- M. Vanhoucke (2015a). *Applied Operations Research*. Academia Press.
- M. Vanhoucke (2015b). *Taking Sound Business Decisions: From Rich Data to Better Solutions*. OR-AS, eerste edition.
- B. VanLancker & Y. Wullaert (2012). *Automation of Workforce Scheduling: Required Functionalities and Performance Measurement*. Afstudeerwerk, Universiteit Gent, Gent, België.
- Vlaams infocentrum land- en tuinbouw (2014). Eén op de zes jobs bij delhaize belgië bedreigd. Geraadpleegd op 12 oktober 2015, via: <http://www.vilt.be/een-op-de-zes-jobs-bij-delhaize-belgie-bedreigd>.
- Vlaio (2016). Een kmo volgens de Europese kmo-definitie: kleine of middelgrote onderneming. Geraadpleegd op 23 april 2016, via: <http://www.vlaanderen.be/nl/ondernemen/kapitaal-en-krediet/een-kmo-volgens-de-europese-kmo-definitie-kleine-middelgrote-onderneming>.
- M. Wong, P. Chan & Y. Chan (2004). A critical review of forecasting models to predict manpower demand. *The Australian Journal of Construction Economics and Building*, 4(2):43–56.
- T. Xueli & M. Zhansheng (2013). Research on Multi-agent Task Allocation Methods Based on Game Theory. *Journal of Convergence Information Technology*, 8(4).
- L. Yanli & Z. Heng (2012). Multi-robot Task Allocation Based on Improved Market Mechanism and Anxiety Conception. *IJACT: International Journal of Advancements in Computing Technology*, 4(18):134–140.

- E. Yudkowsky (2008). Artificial Intelligence as a Positive and Negative Factor in Global Risk. *Machine Intelligence Research Institute*, pp. 1–46.
- S. Zolfaghari, Q. Vinh, A. El-Bouri & M. Khashayardoust (2010). Application of a genetic algorithm to staff scheduling in retail sector. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 5:20–47.
- M. Zollo & W. S.G. (2002). Deliberate Learning and the Evolution of Dynamic Capabilities. *Institute for Operations Research and the Management Sciences*, 13(3):339–351.