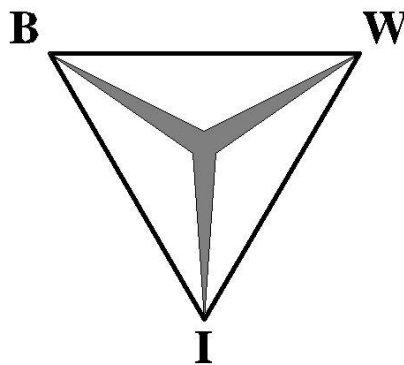


BWI Werkstuk

Operations Research in de gezondheidszorg



Hugo Huijser
Augustus, 2003

Vrije Universiteit
Faculteit der Exacte Wetenschappen
Studierichting Bedrijfskunde & Informatica
De Boelelaan 1081a
1081 HV Amsterdam

Voorwoord

Het BWI-werkstuk dat u in handen heeft, is het resultaat van een literatuuronderzoek naar het gebruik van Operations Research in de gezondheidszorg.

Het is één van de laatste onderdelen van de studie Bedrijfswiskunde & Informatica aan de Vrije Universiteit te Amsterdam.

Doel van het werkstuk is een aan de studie gerelateerd onderwerp te nemen en te onderzoeken wat de literatuur hierover zegt. De student is vrij om zelf een onderwerp te kiezen.

Mijn dank gaat uit naar Prof. Dr. G.M. Koole die mij met nuttige aanwijzingen heeft begeleid bij het maken van dit werkstuk. Verder wil ik de makers van de zoekmachine Google bedanken, met hun hulp was het mogelijk om in vrij korte tijd zeer veel informatie van Internet boven water te krijgen.

Nijkerk, augustus 2003

Hugo Huijser

Samenvatting

Operations Research is onderzoek met als doel: het beslissen van de meeste efficiënte manier om iets te doen. Iedereen profiteert, vaak ongemerkt, wel van methoden uit de Operations Research. Een voorbeeld hiervan zijn de vele zoekmachines of routeplanners die op Internet beschikbaar zijn.

Dit werkstuk bespreekt het gebruik van Operations Research in de gezondheidszorg. Het toepassen van methoden uit de Operations Research blijkt binnen de gezondheidszorg minder vanzelfsprekend te zijn dan bij andere sectoren.

In het bijzonder wordt er ingegaan op het gebruik van Operations Research bij het roosteren van verplegend personeel in ziekenhuizen. Roosteren en plannen is niet iets van de laatste tijd, maar heeft door de opkomst van Operations Research wel een enorme vooruitgang geboekt. Een aantal methoden die tegenwoordig toegepast worden bij de roostering van verplegend personeel zullen uitgebreid aan de orde komen.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Een kennismaking met de Operations Research	2
2.1	Wat is Operations Research?	2
2.2	Operations Research in de praktijk	4
3	Operations Reserach in de gezondheidszorg	6
3.1	Strategisch niveau	6
3.1.1	Locatietoewijzing	7
3.2	Tactisch niveau	8
3.2.1	Vraagvoorspelling	8
3.3	Operationeel niveau	9
3.3.1	Roostering van de patiënten	9
3.3.2	Roostering van het personeel	10
3.3.3	Planning van de capaciteit	10
4	Operations Research en de gezondheidszorg	12
4.1	Tegenstrijdige doelstellingen in de gezondheidszorg	12
4.2	Operations Research voor wie en hoe?	14
4.3	Weinig vertrouwen in Operations Research	14
5	OR toegepast bij het roosteren van verplegend personeel	16
5.1	Karakteristieken van het roosteren in de verpleging	16
5.2	Wetgeving	17
5.3	Het maken van een dienstregeling	18
5.4	De problemen	18
5.5	Roosteren met behulp van Operations Research	19
5.5.1	Het roosteringsprobleem concreet gemaakt	20
5.5.2	Lineaire Programmering	21
5.5.3	Bayesiaans Netwerk	23
5.5.4	Stochastische Optimalisering	25
6	Conclusies	30
7	Literatuurlijst	32

Hoofdstuk 1

Inleiding

Ziek zijn is geen pretje. Velen zien daarom een ziekenhuis ook liever niet te vaak van binnen. Als het toch gebeurt dat je voor een operatie of behandeling opgenomen moet worden in het ziekenhuis, wil je ook graag zo snel mogelijk geholpen worden. De lange wachtlijsten waar de ziekenhuizen momenteel mee te maken hebben, veroorzaakt door een gebrek aan bedden of gekwalificeerd personeel of financiële middelen, zijn dan ook een doorn in het oog van de meeste patiënten.

Het gebruik van Operations Research toepassingen heeft de laatste decennia grote populariteit verworven. Problemen zoals hierboven zijn één van de vele vraagstukken waar de gezondheidszorg mee te maken heeft, waarin Operations Research grote mogelijkheden biedt.

Nadat in hoofdstuk 2 kennis wordt gemaakt met de Operations Research en de mogelijkheden ervan, kunt u in hoofdstuk 3 lezen over de verschillende toepassingsgebieden van de Operations Research in de gezondheidszorg. Hoewel er talloze mogelijkheden liggen voor OR-toepassingen binnen de gezondheidszorg, blijkt de aandacht voor de gezondheidszorg vanuit de OR-hoek toch relatief vrij klein te zijn. In hoofdstuk 4 kijken we wat de oorzaken van deze geringe aandacht zijn.

Het vijfde hoofdstuk zal, in tegenstelling tot de eerste vrij algemene hoofdstukken, ingaan op een specifiek onderdeel binnen de gezondheidszorg, namelijk de roostering van het verplegend personeel. OR-technieken die hierbij gebruikt worden, zullen hier uitgebreid aan de orde komen.

Hoofdstuk 2

Een kennismaking met de Operations Research

De naam Operations Research (OR) werd voor het eerst aan het begin van de Tweede Wereldoorlog gebruikt. Het Bawdsey Research Station in Engeland kreeg in 1939 de opdracht te onderzoeken hoe de tijdsduur tussen de eerste radarmelding van vijandelijke vliegtuigen en het moment waarop de Engelse luchtmacht in actie kwam, kon worden verkort. Aan dit soort onderzoeken werd de naam Operations Research gegeven (Garrambone, 2003).

2.1 Wat is Operations Research?

Een definitie van Operations Research is niet eenvoudig. De definities in de literatuur lopen daarom ook sterk uiteen. Een online woordenboek omschrijft Operations Research als volgt:

OR is onderzoek met als doel: het beslissen van de meeste efficiënte manier om iets te doen. (Hyperdictionary.com)

De OR is te beschouwen als een verzameling van technieken die kunnen worden toegepast om de kwaliteit van kwantitatieve beslissingen te verbeteren. De Nederlandse benaming van OR is daarom ook: besliskunde.

In de Operations Research houdt men zich bezig met het toepassen van kwantitatieve methoden (algoritmes) om de doelmatigheid van een bepaald systeem te vergroten. In het ideale geval wordt een optimale oplossing bepaald. Vaak kan dit echter niet, of vindt men dit te kostbaar. Men volstaat dan met een benaderende oplossing of met een kwantitatieve analyse (Kallenberg, 2003).

In de praktijk worden bij het oplossen van een OR-probleem de volgende stadia onderscheiden (Beasley, 1990):

1. Identificatie van het probleem

Een probleem dat tot de OR behoort, heeft de volgende structuur:

- Er is een *beslisser* (persoon of groep) die een *doel* heeft dat nagestreefd wordt.
- De beslisser kan het systeem *sturen* door het kiezen van *acties*.
- Onderzocht wordt wat *goede* of *optimale* acties zijn, d.w.z. mogelijke acties moeten met elkaar vergeleken kunnen worden.

2. Formulering van het probleem als een wiskundig model

Bij het oplossen van zo'n OR-probleem wordt een wiskundig model geconstrueerd. Een model is een, meestal vereenvoudigde, voorstelling van de werkelijkheid. Het doel van een model is om het gedrag van een systeem te beschrijven. In een mathematisch model voor een OR-probleem komen de acties (de bestuurbare componenten) voor als beslissingsvariabelen of als strategieën. Daarnaast kunnen er ook andere grootheden zoals stochastische variabelen, parameters of constanten voorkomen.

3. Oplossen van het model

Er zijn vele mogelijke manieren om een model op te lossen of te analyseren. De keuze van de methode is uiteraard sterk afhankelijk van het model. De methoden om een OR-probleem op te lossen kunnen als volgt worden onderverdeeld:

- analytische methoden
- algoritmische methoden
- heuristische methoden

Bij een *analytische methode* wordt een oplossing afgeleid in de vorm van een formule. Door de gegevens van een specifiek probleem in deze formule in te vullen krijgen we de oplossing.

Bij een *algoritmische methode* wordt meestal gestart met een bepaalde beginoplossing, waarna het algoritme een nieuwe oplossing bepaalt; deze neemt dan de plaats in van de beginoplossing en vervolgens wordt er weer een nieuwe oplossing bepaald, etc. Een dergelijk iteratieve procedure is geschikt om een OR-model op te lossen als een startoplossing eenvoudig te vinden is en als de rij tussentijdse oplossingen convergeert naar de gewenste oplossing.

Als bovenstaande methoden niet kunnen worden toegepast of als er redenen zijn om ze niet toe te passen, dan kan vaak gebruik gemaakt worden van een *heuristische methode*. Hierbij wordt een procédé voorgesteld, vaak een algoritme, om een goede, maar niet optimale, oplossing te vinden of om elementen van het systeem te analyseren.

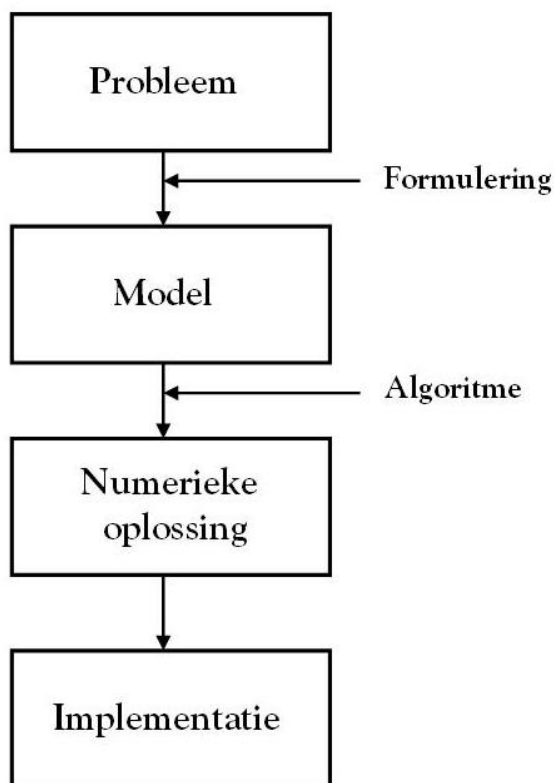
4. Validatie van het model

Nadat het model is opgesteld en opgelost, moet worden nagegaan of dit model en de oplossing ervan voldoen, d.w.z. of het een geschikte voorstelling van de werkelijkheid is. Dit kan vaak worden gedaan door gegevens die uit het verleden of heden bekend zijn met dit model te 'berekenen', waarna de berekende waarden met de bekende waarden vergeleken kunnen worden.

5. Implementatie

Deze fase bevat de implementatie van de resultaten van de eerste vier fasen. Als het een implementatie van een algoritme betreft, zal dit vaak gebeuren met behulp van een softwarepakket.

Het volgende figuur geeft een grafische weergave van het beschreven proces.



Figuur 2.1 Het OR-proces

2.2 Operations Research in de praktijk

De Operations Research is tegenwoordig niet meer uit de samenleving en het bedrijfsleven weg te denken. Na de 'ontdekking' van de OR vlak voor de Tweede Wereldoorlog heeft de OR een geweldige groei meegemaakt (Fleuren, 2001). In de vijftiger en zestiger jaren vonden binnen de OR ontwikkelde technieken op grote schaal toepassing in het bedrijfsleven, onder meer op het terrein van capaciteitsberekening, productieplanning en voorraadbeheer. In deze periode werd bovendien een groot aantal theoretische bijdragen geleverd aan de uitbreiding van het besliskundig arsenaal, waarvan de ontwikkeling van de simplexmethode voor de oplossingen van lineaire programmeringmodellen veruit de meeste bekendheid heeft gekregen.

In de jaren zeventig en tachtig zien we grote multinationals eigen OR-stafafdelingen opzetten (den Hertog, 2001). Gelijktijdig zien we het ontstaan van

zelfstandige consultancy bureaus met als bekendste in Nederland: ORTEC en CQM.

Het soort vraagstukken dat opgelost kan worden met behulp van OR zijn te vinden op alle verschillende beslisniveaus: *strategisch*, *tactisch* en *operationeel* (Fleuren, 2001).

Op alle niveaus zijn vele vraagstukken te bedenken. Van elk niveau hieronder een praktijkvoorbeeld:

Bijna elke productieonderneming heeft wel te maken met fysieke logistieke stromen. Grondstoffen of goederen worden geleverd door fabrieken of groothandels en de bestelde producten die bij de klant worden bezorgd. Een belangrijke strategische vraagstelling hierbij kan zijn: hoeveel magazijnen moeten er zijn, waar moeten deze liggen en hoe moet de goederenstroom van producent naar klant verlopen? Uiteraard wil de manager dit tegen zo laag mogelijke kosten. U kunt zich voorstellen dat een onderneming met slechts één magazijn lage voorraadkosten zal hebben, maar erg hoge transportkosten. Het gebruik van veel magazijnen verlaagt de transportkosten, maar verhoogt de voorraadkosten aanzienlijk. Ergens daartussen ligt de 'beste' oplossing, het optimum. Dit optimum kan veel geld besparen ten opzichte van niet-optimale oplossingen.

Bij tactische beslissingen hebben we het over de middellange termijn van meestal weken tot maanden. Ook hier kijken we naar een productieonderneming. Een vraagstuk op tactisch niveau kan hier zijn: welke klantorder moet in welke fabriek uitgevoerd worden, rekening houdend met vele randvoorwaarden en uiteraard ook weer tegen minimale kosten. Typische randvoorwaarden zijn de capaciteiten in de fabrieken, levertijden naar de klant, de specialisaties van de verschillende fabrieken en dergelijke. Daarnaast spelen vele kostenfactoren een rol zoals productiekosten in de verschillende fabrieken, opslagkosten en distributiekosten naar de klant.

Voor een laatste, operationeel voorbeeld bekijken we een transportonderneming. De vrachtwagens die de onderneming tot haar beschikking heeft, wil ze zodanig inzetten dat deze tegen minimale kosten dagelijks de goederen distribueren. Ook hier moet met vele praktijkvoorwaarden rekening gehouden worden. Daarbij valt te denken aan de capaciteit van de vrachtwagens, de vraag van de klanten, de tijdsintervallen waarbinnen je bij een klant mag aankomen, laad- en lostijden en de kosten van vrachtwagen, brandstof en chauffeur. Gezien het aantal vrachtwagens dat op de snelwegen in Nederland te zien is, zal het duidelijk zijn dat veel ondernemingen met het beschreven probleem te maken hebben.

Hoofdstuk 3

Operations Research in de gezondheidszorg

In hoofdstuk 2 hebben we kunnen lezen dat de Operations Research toegepast wordt bij vraagstukken op alle verschillende beslisniveaus: strategisch, tactisch en operationeel.

Dit hoofdstuk zal ingaan op een aantal terreinen van de gezondheidszorg waar de Operations Research is toegepast in de afgelopen decennia. Ook hier zullen beslissingen op de verschillende beslisniveau besproken worden. Veel problemen die in de gezondheidszorg worden opgelost met behulp van Operations Research verschillen analytisch niet van problemen in andere sectoren. Veel andere problemen in de gezondheidszorg zijn echter vrij uniek door bepaalde karakteristieken van de gezondheidszorg. Sommige zijn mogelijk bepalend voor leven of dood.

3.1 Strategisch niveau

Beslissingen op strategisch niveau hebben te maken met het bepalen en bereiken van de lange-termijndoelen en worden genomen door het topmanagement. Strategische beslissingen dienen de toekomst van een organisatie, met betrekking tot financiën, groei en de concurrentiepositie in de hand te houden. Ze beïnvloeden de organisatie voor vele jaren (Levecq, 2002).

Hierbij valt te denken aan het bepalen van de locaties van de verschillende faciliteiten, het wel dan niet investeren in nieuwe gebouwen of apparatuur of hoe om te gaan met concurrerende bedrijven.

Het strategische beleid binnen de gezondheidszorg is complexer dan het strategisch beleid van de meeste private organisaties, doordat de gezondheidszorg een door de overheid bestuurde sector is. Korsten, ter Braak en van 't Spijker (1993) geven een aantal argumenten voor deze complexiteit.

- *Meer doelstellingen.* Een private organisatie kan zich richten op een beperkt aantal doelstellingen. Bij de overheid is dit doorgaans niet het geval, een overheidsorganisatie heeft vele taken te vervullen.
- *Vage doelstellingen.* In een private organisatie zijn de doelstellingen tamelijk precies geformuleerd. Doelstellingen bij een overheidsorganisatie zijn meestal veel vager, door de complexiteit van bepaalde problemen die een overheid onmogelijk zelf alleen kan oplossen.
- *Openbaarheid.* De besluitvorming in overheidsorganen voltrekt zich in de openbaarheid. Dit leidt tot debat, wat een weinig eenduidige koers tot gevolg kan hebben.

- *Pluriforme samenleving*. In privaat organisaties is minder dan in de overheidsfeer sprake van de noodzaak om rekening te houden met pluriformiteit in de samenleving. Ook dit compliceert de strategievorming bij de overheid.
- *Politieke cyclus*. In de overheidsfeer is sprake van een politieke cyclus, de periode tussen verkiezingen, van vier jaar of korter. Daardoor bestaat er druk om voorrang te geven aan beleid dat op korte termijn zichtbaar of vruchten afwerpt, boven het ontwikkelen van een lange termijnvisie en het 'oogsten' later dan na vier jaar.

3.1.1 Locatietoewijzing

Een belangrijke strategische beslissing binnen de gezondheidszorg heeft te maken met de toewijzing van de locaties van faciliteiten (Pierskalla & Brailer, 1994). Aan de ene kant is er de behoefte zo dicht mogelijk bij de klant/patiënt gevestigd te zijn in verband met de snelle bereikbaarheid. Aan de andere kant zal geprobeerd worden het aantal en de locaties van de vestigingen tegen minimale kosten te bepalen.

Het bepalen en toewijzen van de locaties in de gezondheidszorg is toch anders omdat de faciliteiten te maken hebben met strenge wetgeving. Bij ziekenhuizen waar behandeling van spoedgevallen plaatsvindt, zal bijvoorbeeld geëist worden dat bereikbaarheid binnen een bepaalde tijd mogelijk moet zijn.

Locatieproblemen in de gezondheidszorg kunnen onderverdeeld worden in verschillende categorieën met enigszins kenmerkende karakteristieken. Het type van faciliteit is hierbij bepalend. Wanneer we te maken hebben met plaatsing van ziekenhuizen, staat de afstand van patiënt tot ziekenhuis centraal. Hier moeten de ziekenhuizen op die plekken geplaatst worden, zodat de grootste afstand van een patiënt naar ziekenhuis zo klein mogelijk is. Voor zo'n soort probleem zijn er vrij eenvoudige heuristieken toepasbaar.

Het probleem wordt anders wanneer een ziekenhuis veel te maken heeft met noodgevallen en wanneer er ook ambulances vanuit dit ziekenhuis uit moeten kunnen rukken om bij zeer spoedeisende gevallen de patiënt te bezoeken. Hierbij is de tijd die de ambulance nodig heeft om vanaf ziekenhuis heen en weer naar patiënt te rijden het criterium. Aangezien midden in een grote stad de afstand vaak het probleem heeft dat de reistijd over korte afstand aanzienlijk langer duurt dan buiten de stad, en omdat ook rekening gehouden moet worden met het feit dat bij spoedgevallen, bijvoorbeeld verkeersongelukken, de kans aanwezig is dat uitgeweken moet worden naar meer specialistische ziekenhuizen, is het probleem lastiger dan het voorgaande. Ook het aantal ambulances dat elk ziekenhuis moet hebben wordt onderdeel van het probleem. Simulaties zijn veel gebruikte methoden bij zulke complexe situaties. Wanneer het bepalen van het aantal ambulances als een los probleem wordt gezien, kan men gebruik maken van een set covering methode die een minimum aantal benodigde ambulances probeert te vinden zodat alle zones worden gecoverd door minimaal één ambulance.

Weer een ander verhaal is het wanneer het gaat om de plaatsing van gespecialiseerde lange-termijn zorgfaciliteiten zoals revalidatiecentra, verpleeghuizen of psychiatrische inrichtingen. Hierbij geldt niet zozeer dat de faciliteit dicht bij de patiënt geplaatst wordt, maar wordt meer gekeken naar de kosten die de plaatsing met zich meebrengt en eventueel naar de afstand naar het dichtstbijzijnde ziekenhuis.

3.2 Tactisch niveau

Tactische beslissingen zijn beslissingen die te maken hebben met de implementatie van het beleid van de onderneming (Levecq, 2002). We kunnen hierbij denken aan beslissingen wat betreft de keuze van apparatuur of computersysteem of de keuze van het aantal te produceren goederen. Een andere tactische beslissing kan zijn om de afzetmarkt te vergroten of juist te verkleinen. De gezondheidszorg heeft weinig te beslissen wat betreft de productiegrootte of afzetmarkt, maar heeft wel te maken met de keuze van apparatuur of computersysteem.

3.2.1 Vraagvoorspelling

Om beslissingen op alle niveaus te verbeteren wordt veel gebruik gemaakt van data analyse (Askew, 2002). Ook in de gezondheidszorg houdt men zich hier mee bezig.

Voorspelling van de 'vraag naar zorg' is belangrijk voor het verbeteren van de efficiency van het gebruik van de middelen in de gezondheidszorg.

Vraagvoorspelling speelt een rol op zowel strategisch, tactisch als operationeel niveau, maar in het bijzonder op tactisch niveau. Met voorspelde vraag naar zorg verstaan we het verwachte aantal te behandelen patiënten.

Bestaande en bekende Operations Research methoden die ook in andere bedrijfstakken worden toegepast zijn ook geschikt voor de gezondheidszorg (Pierskalla & Brailer, 1994). De voorspelling van de vraag naar zorg is een belangrijke component bij veel andere gebieden van de Operations Research in de gezondheidszorg, zoals het gebruik van de capaciteit en de kwaliteit van de zorg en service in ziekenhuizen of verpleegtehuizen.

Zo is de vraag naar zorg de input voor het aantal benodigde artsen en verpleegsters en dus ook de input van het roosteringsprobleem.

Bij het voorspellen van de vraag wordt gebruik gemaakt van verschillende technieken. Allereerst zijn er kwalitatieve methodes zoals historische analyses. Gebruik makend van gegevens uit het verleden worden voorspellingen gedaan voor de toekomst. Deze techniek is goedkoop en makkelijk te gebruiken, maar heeft als nadeel dat veranderingen in de omgeving of de onderneming genegeerd worden.

Verder zijn er statistische technieken die de vraag kunnen voorspellen. Zo kan de vraag voorspeld worden met behulp van kleinste kwadraat regressie. Verschillende onafhankelijke variabelen zoals bevolkingsdichtheid, het aantal personen per

huishouden, gemiddelde leeftijd en gemiddeld inkomen blijken informatie te bezitten over de vraag naar zorg.

3.3 Operationeel niveau

Beslissingen op operationeel niveau zijn de ‘dagelijkse beslissingen’. Beslissingen voor de korte termijn worden meestal routinematig genomen. (Levecq, 2002). Bij operationele beslissingen kunnen we denken aan beslissingen die te maken hebben met de inzet van het beschikbare personeel of apparatuur. Roostering van patiënten of personeel zijn de belangrijkste operationele taken van een ziekenhuis.

3.3.1 Roostering van de patiënten

In paragraaf 3.2.1 zijn methoden besproken die de vraag naar zorg zo goed mogelijk proberen te voorspellen. Om deze verwachte patiëntenstroom optimaal te beheersen, is goede roostering van de patiënten noodzakelijk (Pierskalla & Brailer, 1994). Patiënten die op afspraak behandeld worden, houden er niet van om te wachten voor hun behandeling en zullen bij lange wachttijden vaak afzeggen omdat dat als onaanvaardbaar wordt beschouwd. Patiënten die voor langere tijd in het ziekenhuis moeten verblijven, houden niet van een trage verzorging.

Het probleem is om aan de ene kant te voldoen aan de wensen en verwachtingen van de patiënt en aan de andere kant de beschikbare capaciteit zo goed mogelijk te gebruiken.

Bij roostering van patiënten die op afspraak behandeld worden, kun je te maken hebben met patiënten die te laat of helemaal niet komen of artsen die te laat zijn. Daarnaast zijn de behandel tijden vaak lastig te voorspellen (afhankelijk van het soort behandeling), is niet altijd de juiste apparatuur aanwezig, kunnen er noodgevallen tussenkomen, enzovoort. Hierdoor is het lastig een goede methode van roostering te bedenken. De meeste methodes zijn variaties van of blokkroostering of individuele roostering. Bij blokkroostering worden alle patiënten geroosterd op een bepaald tijdstip, bijvoorbeeld 08:30. De patiënten worden vervolgens behandeld op het principe van wie het eerst komt, het eerst maalt. Het zal duidelijk zijn dat dit volle wachtkamers en lange wachttijden tot gevolg heeft. Voordeel is dat de artsen weinig tijd doorbrengen met niets doen. Nu kan gekozen voor kleinere blokken van bijvoorbeeld een uur, wat kleinere wachttijden tot gevolg zal hebben.

Bij individuele roostering wordt voor elke patiënt een individuele afspraak gemaakt. Deze roostering is veel gevoeliger voor eerder genoemde problemen en zal meer informatie nodig hebben wat betreft de aard van behandeling. Toch wordt in de praktijk veel gekozen voor deze manier van roosteren omdat klantvriendelijkheid erg zwaar meeweegt.

Om in deze situatie een optimale manier van roosteren te vinden, moeten er kosten aan gegeven worden aan de wachttijd van zowel patiënten als artsen. Wanneer de tijd van de arts als erg kostbaar wordt beschouwd, zal blokkroostering zeker lagere ‘wachtkosten’ met zich meebrengen dan individuele roostering. Bij

een voorkeur voor minimale wachttijden voor de patiënt, zal eerder gekozen worden voor individuele roostering.

Ik denk dat een blokkroostering met kleine blokken een goede tussenweg is. Hierbij kan gedacht worden aan blokken van circa 20 minuten.

De behandelzeiten blijken te onvoorspelbaar om voor individuele roostering te kiezen, maar blokkroostering met grote blokken resulteert in te lange wachttijden.

De tijd van een arts is zeker kostbaar, maar mag niet leiden tot urenlange wachttijden voor de patiënt.

Roostering van patiënten die voor langere periode in het ziekenhuis zijn, is een heel ander en lastiger verhaal. Hierbij zijn drie belangrijke dimensies te onderscheiden. Allereerst moet er een roostering zijn van welke patiënt wanneer opgenomen dient te worden, rekening houdend met mogelijke onverwachte opnames. Ten tweede is er een dagelijkse roostering van de behandelingen en diagnoses van elke patiënt gedurende zijn/haar verblijf in het ziekenhuis. Ten derde hebben we te maken met een roostering van ontslag uit het ziekenhuis naar huis of naar een andere zorginstelling.

De modellen die hierbij gebruikt worden zijn complexer en vereisen meer data en betere informatiesystemen dan bij het roosteren van patiënten op afspraak. Veel verschillende methodes worden toegepast zoals wachtrijmodellen gerepresenteerd als Markov ketens, mathematische programmering, heuristische systemen en simulaties. Door de complexiteit en de relatief slechte voorspellingen maken veel ziekenhuizen gebruik van informele of ad hoc methodes.

3.3.2 Roostering van het personeel

Naast het roosteren van de patiënten, moet het verzorgend personeel natuurlijk ook ingeroosterd worden. Al verschilt het roosteren van personeel in de gezondheidszorg conceptueel niet van het roosteren van personeel in andere bedrijfstakken, toch zijn er verscheidene factoren die dit probleem in de gezondheidszorg complexer maken. Allereerst moet er 24 uur per dag voldoende gekwalificeerd personeel zijn voor verschillende soorten patiënten. Daarnaast heeft de gezondheidszorg te maken met strenge eisen waaraan een dienstrooster in de gezondheidszorg moet voldoen (Mietus, 1994). Hoe methoden uit de Operations Research hierin een oplossing kunnen bieden, is uitgebreid te lezen in hoofdstuk 5. In dat hoofdstuk zal ook dieper ingegaan worden op een aantal van deze methoden.

3.3.3 Planning van de capaciteit

Capaciteitsplanning heeft betrekking op beslissingen betreffende de juiste hoeveelheden faciliteiten en apparatuur bij een bepaalde vraag (Pierskalle & Brailer, 1994). In de gezondheidszorg kunnen we bij capaciteitsplanning denken aan tactische beslissingen omtrent de bedden capaciteit, de toewijzing van deze capaciteit over de verschillende afdelingen, de capaciteit van de operatieapparatuur en de ondersteunende apparatuur en factoren die het gebruik van de capaciteit beïnvloeden zoals de patiëntenstroom en de inzet van het

personeel. Het doel van capaciteitsplanning is een optimale effectiviteit bij het gebruik van de beschikbare capaciteit.

De toewijzing van de bedden capaciteit in een ziekenhuis is een kritieke factor voor de kwaliteit van het ziekenhuis. In deze tijd van lange wachtlijsten voor ziekenhuizen is dit een hot item.

Met behulp van bestaande wachtrijmodellen is veel onderzoek verricht naar het verbeteren van de bedden capaciteit. Ook bij dit probleem wordt veel gebruik gemaakt van simulatiemodellen waarbij de situatie in het ziekenhuis over lange periode en met verschillende beddentoewijzingen nagebootst wordt.

Hoofdstuk 4

Operations Research en de gezondheidszorg

In het vorige hoofdstuk heeft u kunnen lezen over de verschillende terreinen in de gezondheidszorg waarbij methoden uit de Operations Research oplossingen (kunnen) bieden. De gezondheidszorg is één van de grootste sectoren in de westerse wereld. In Nederland is ongeveer 10% van de beroepsbevolking werkzaam in de gezondheidszorg (de Waard, 2002). Toch is er slechts een zeer klein deel van de OR mensen dat zich specialiseert in de gezondheidszorg. Uit cijfers van INFORMS (Institute for Operations Research and the Management Sciences) blijkt dat minder dan 2% van hun leden werkzaam of betrokken zijn bij de medische wereld (Informs.org).

Waarom werken er niet meer OR mensen in de gezondheidszorg? De gezondheidszorg heeft met veel onderwerpen te maken die ook voorkomen in andere sectoren, maar met enkele belangrijke politieke verschillen. Wanneer je probeert te werken in de gezondheidszorg zonder kennis van de politiek erachter, dan vraag je om problemen. Aan de andere kant vertegenwoordigt de gezondheidszorg een groot deel van de economie, dat onze hulp hard nodig heeft. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op dit vraagstuk.

4.1 Tegenstrijdige doelstellingen in de gezondheidszorg

De gezondheidszorg is anders dan andere sectoren. Er zijn verscheidene partijen die keuzes moeten maken met tegenstrijdige doelstellingen. Glouberman and Mintzberg (2001) beschrijven in hun artikel 'Managing the care of health and the cure of disease' een kader dat probeert duidelijk te maken waarom het in de gezondheidszorg (binnen ziekenhuizen) haast onmogelijk is om effectief management te voeren.

Ze onderscheiden vier verschillende groepen (of werelden) in een ziekenhuis:

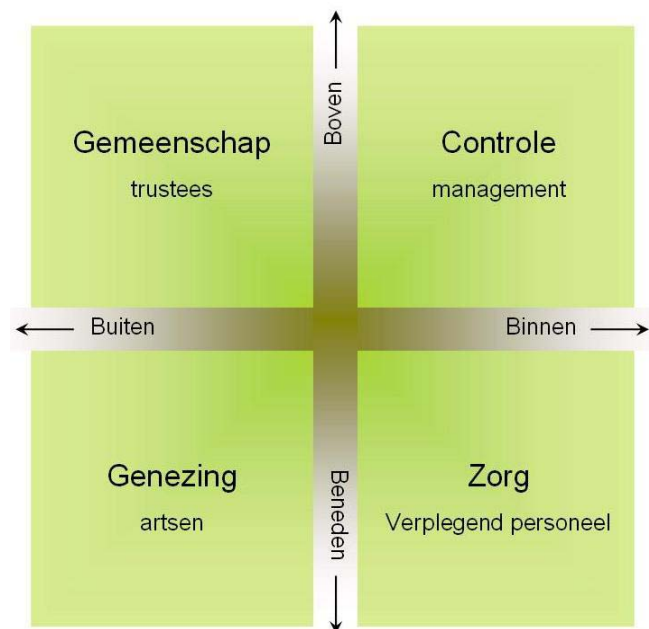
- genezing (artsen)
- zorg (verplegend personeel)
- controlering (management)
- gemeenschap (trustees of Raad van Bestuur)

Deze vier groepen functioneren voor een groot deel onafhankelijk van elkaar en met verschillende denkrichtingen. De situatie die Glouberman and Mintzberg geanalyseerd hebben, is die van de ziekenhuizen in de Verenigde Staten. De

situatie in algemene (niet-academische) ziekenhuizen is echter goed vergelijkbaar met de beschreven situatie (van der Lee, 2000).

Zo zullen de artsen en het verplegend personeel vooral 'naar beneden' denken, dat wil zeggen dat zij vooral gefocussed zijn op het welzijn van de patiënt en een zo kwalitatief hoog mogelijke behandeling voor deze patiënt. Het management en de Raad van Bestuur zijn vooral geïnteresseerd in het besturen en controleren van het ziekenhuis. Omdat managers vaak minder verstand hebben van medische operaties zal hun prioriteit vooral liggen op het minimaliseren van de kosten.

Ook in horizontale richting zijn twee mogelijkheden: naar binnen en naar buiten. Het management en het verplegend personeel werken 'binnen' het instituut, terwijl trustees en artsen 'buiten' het instituut werken, omdat zij technisch gezien geen werknemers zijn en dus onafhankelijk zijn van de formele autoriteiten. Artsen zijn veelal zelfstandige ondernemers die op basis van vergoeding voor werken worden ingehuurd door de ziekenhuizen.



Figuur 4.1 Vier werelden binnen een ziekenhuis

Binnen deze gesplitste omgeving vormen die untersten Parteien die sogenannte 'Medische Coalitie'. Die Mitglieder dieser Koalition, die Ärzte und das Pflegepersonal, haben als Ziel die Pflege des Patienten. Sie sind schließlich auch diejenigen, die den Kontakt mit diesem Patienten haben. Gegenüber dieser Koalition bilden das Management und der Rat der Verwaltung eine Koalition, die Glouberman und Mintzberg die 'Containment Coalitie' nennen. Ihr Ziel ist ein ökonomisches Ziel und hat vor allem mit dem Budget des Krankenhauses zu tun. Durch die gegensätzlichen Interessen dieser Koalitionen ist es oft wenig Zusammenarbeit zu finden zwischen den verschiedenen Parteien und es wird auch schwierig sein, die Neuzugänge in dieselbe Richtung zu bekommen.

Het grote verschil met andere private sectoren is dat niemand echt de baas is (Carter, 2002). Managers bepalen met welke middelen gewerkt wordt, maar de artsen bepalen hoe er met deze middelen wordt gewerkt. Een horizontale kloof scheidt het medische personeel van de 'Containment Coalitie' zonder dat er erg veel samenwerking is tussen deze twee partijen. Glouberman en Mintzberg (2001) merken verder op dat zowel de managers als de artsen zich tot het verplegend personeel wenden bij conflictsituaties. Verpleegsters/verplegers worden zo de ziekenhuismanagers zonder enige autoriteit om leiding te geven.

4.2 Operations Research voor wie en hoe?

Over het algemeen is het doel van Operations Research de kosten te minimaliseren of de kwaliteit te vergroten of een combinatie van deze twee. Op het eerste gezicht klinkt dit heel duidelijk, maar door de verschillende denkrichtingen die genoemd zijn in de vorige paragraaf, ligt dat wat lastiger. Artsen en verplegend personeel zullen voornamelijk geïnteresseerd zijn in het vergroten van de kwaliteit, terwijl managers en de Raad van Bestuur meer zullen voelen voor minimaliseren van de kosten.

Ook zijn termen als 'kwaliteit' en 'kosten' op meerdere manieren interpreteerbaar (Carter, 2002). Kosten voor wie? Voor het ziekenhuis? Voor de patiënt? Voor de artsen of het verplegend personeel? Welke kosten willen we minimaliseren?

Willen we de kosten per bezoek aan het ziekenhuis minimaliseren of willen we de totale jaarlijkse kosten minimaliseren?

Hoe definiëren we kwaliteit? Kwaliteit is moeilijk meetbaar. Wanneer een patiënt uit het ziekenhuis ontslagen wordt, heeft het ziekenhuis vaak geen informatie over het verdere verloop van deze patiënt, behalve wanneer de uitkomst zo slecht is dat de patiënt weer opgenomen moet worden.

Kwaliteit optimaliseren is heel ambitieus, maar net zo lastig als het minimaliseren van de kosten. Willen we zo veel mogelijk 'geslaagde' operaties of willen we de kwaliteit van het leven van de patiënt maximaliseren?

Artsen worden beoordeeld naar de resultaten, maar dit heeft soms weinig te maken met het welzijn van de patiënt. Zo kan een arts een erg sterk medicijn voorschrijven wat de hartslag reguleert, maar tegelijk dementie veroorzaakt. Het medicijn heeft duidelijk een negatief effect op het welzijn van de patiënt, maar het niet innemen van de medicijnen zou een negatief impact hebben op de resultaten van de arts.

4.3 Weinig vertrouwen in Operations Research

Vaak is het dus niet goed duidelijk wat het doel van Operations Research moet zijn en wie er voordeel van zou moeten hebben. Daarnaast is het geloof van de gezondheidszorg in de OR minder groot dan in andere (commerciële) sectoren. Carter stelt dat managers in de gezondheidszorg te weinig vertrouwen hebben in het nut van OR (2002). Mensen die werkzaam zijn in de gezondheidszorg zijn vaak erg bekwaam op hun eigen vakgebied, maar hebben relatief weinig kennis

van wat er buiten hun kamer gebeurt. Carter is zelf werkzaam in de OR en zoekt de fout ook bij zichzelf door te stellen dat de OR wereld van haar kant lange tijd (te) weinig interesse heeft getoond in de gezondheidszorg.

Een grote stap in de goede richting voor het oplossen van bovenstaande problemen begint denk ik met het verbeteren van de relatie tussen de gezondheidszorg en de OR wereld: managers en medisch personeel binnen de gezondheidszorg overtuigen van het nut van OR.

Hoofdstuk 5

OR toegepast bij het roosteren van verplegend personeel

Plannen in organisaties is niet iets van de laatste tijd. Coördinatie van organisatorische activiteiten is noodzakelijk. Dit is niet alleen om de uitvoering van de organisatie te verbeteren, maar ook om te overleven in een concurrerende omgeving. Planning is en zal altijd een belangrijke succesfactor zijn binnen een organisatie.

Of het nu gaat om machines, goederen of personeel, het maken van een goede planning is een uitdagende taak voor de planner. Het verkrijgen van een optimaal (dienst)rooster wordt steeds moeilijker, omdat aan de ene kant het aantal aspecten waarmee je te maken hebt toeneemt, terwijl aan de andere kant de planner gebonden is aan zijn/haar beperkte cognitieve capaciteiten. Dit geldt ook zeker voor een dienstregeling voor het verplegende personeel in een ziekenhuis. Methoden uit de Operations Research bieden oplossingen bij het maken van een dergelijke dienstregeling.

Dit hoofdstuk bespreekt allereerst de algemene kenmerken van het roosteringsprobleem van verpleegsters. Het ziekenhuis heeft bepaalde karakteristieken die speciale eisen stelt aan de beschikbaarheid van het verplegend personeel. Daarna zullen enkele te gebruiken methoden verder besproken worden. Dit gedeelte zal technischer van aard zijn dan voorgaande hoofdstukken.

5.1 Karakteristieken van het roosteren in de verpleging

Een ziekenhuis laat dezelfde eigenschappen zien als die van een professionele bureaucratie (Mintzberg, 1983). Hier kunnen drie belangrijke segmenten onderscheiden worden: vakkundig personeel, ondersteunend personeel en de administratieve structuur. Het vakkundig personeel neemt deel aan het primaire proces in het ziekenhuis wat zich bezig houdt met het verplegen en behandelen van de patiënten. Ze hebben kennis en bekwaamheid verworven in hun specialiteit.

Mietus (1994) beschrijft in haar proefschrift "Understanding planning for effective decision support – A cognitive task analysis of nurse scheduling" hoe het roosteren van verplegend personeel in Nederlandse ziekenhuizen over het algemeen verloopt. Deze en de volgende drie paragrafen zijn voornamelijk gebaseerd op haar werk.

Het vakkundig personeel in een ziekenhuis bestaat uit het verplegend en het medisch personeel, respectievelijk de verpleegsters/verplegers en de artsen.

Deze groepen zijn weer onderverdeeld in vele specialiteiten, bijvoorbeeld opererend personeel, dermatologie of deskundigen op het gebied van inwendige aandoeningen.

Dit resulteert weer in variatie van verschillende afdelingen. Iedere afdeling heeft zijn specifieke groep van vakkundig personeel. Het gevolg hiervan voor het roosteren van verplegend personeel is dat elke afdeling verantwoordelijk is voor zijn eigen personeelsprobleem en dat elke afdeling zijn eigen rooster heeft gescheiden van andere afdelingen.

Omdat het verplegend personeel in de praktijk voor het overgrote deel uit vrouwelijke verplegers bestaat, zal het verplegend personeel in het vervolg van dit hoofdstuk kortweg 'verpleegsters' genoemd worden.

Het tweede segment (ondersteunend personeel) in een ziekenhuis zijn de laboratorische medewerkers en het secretariële personeel. In feite ondersteunen zij het werk dat door het vakkundige personeel wordt uitgevoerd. Het laatste segment bestaat uit de directie van het ziekenhuis, de managers en het administratieve personeel.

Het roosteren van het verplegend personeel is 24-uurs roosteren vanwege het continue karakter van de zorg in ziekenhuizen. Volledig continue roostering betekent dat elke dag wordt opgedeeld in dag-, avond- en nachtdiensten. De primaire zorg is vooral gericht op de dagdiensten, maar ook 's avonds en 's nachts moet er voldoende zorg geboden kunnen worden. Het werken van onregelmatige diensten op verschillende tijden van de dag vergt zowel fysieke als mentale gezondheid van het personeel. Om het werk leuk te houden en het sociale leven van de verpleegsters niet al te veel onder druk te zetten, zijn er bepaalde richtlijnen opgesteld. Daarnaast zijn er nog enkele voorzieningen voor het personeel getroffen. Zo mag elke verpleegster bijvoorbeeld voorkeuren opgeven voor bepaalde diensten.

De planner moet bij het toewijzen van diensten aan de verpleegsters dus rekeningen houden met de organisatorische doelstellingen van het ziekenhuis, de richtlijnen en de individuele voorkeuren van het personeel.

5.2 Wetgeving

Ook van buitenaf worden er beperkingen gelegd aan het roosteren van verpleegsters. Ook hierbij is het doel om de werkdruk beperkt te houden, wat alleen maar gunstig is voor de kwaliteit van het werk van de verpleegsters. Een samenvatting van de belangrijkste regels wordt hieronder gegeven:

- Full-time personeel mag maximaal 40 uur per week werken
- Jaarlijks wordt aan elke verpleegster 12 ATV dagen toegekend
- Verpleegsters krijgen 4 vrije dagen per 2 weken
- Verpleegsters zijn tenminste 22 weekends per jaar vrij

- Tussen twee diensten moet een verpleegster minimaal 10 uur rust krijgen
- Bij een overgang van een dag- naar een nachtdienst mag deze rusttijd 6 uur bedragen
- Elke nationale feestdag die niet op zaterdag of zondag valt, wordt gecompenseerd met een extra vrije dag

5.3 Het maken van een dienstregeling

Vaak ligt de taak voor het maken van het dienstrooster bij het hoofd verpleging. Al is het roosteren één van de vele managementtaken van het hoofd verpleging, toch is het een belangrijke, complexe en tijdrovende taak. De verantwoordelijke voor het rooster begint met een chaotische hoeveelheid data waaruit als resultaat een goed gerangschikt rooster dient voort te komen. De uitdaging hierbij is om alle data te verwerken in een rooster dat zo veel mogelijk de verschillende genoemde doelen realiseert.

De verscheidenheid van de data waarmee de planner te maken heeft, maakt het roosteren erg lastig. Bovendien is het moeilijk om vooraf te weten welke keuze leidt tot een geschikt rooster.

De planner maakt gebruik van een heuristische zoektocht, waarbij het onzeker is of deze naar een oplossing leidt. Eigenlijk kan het proces gezien worden als 'trial and error'. Wanneer er niet direct een oplossing gevonden wordt, probeert de planner andere mogelijkheden in de hoop dat één van deze mogelijkheden uiteindelijk tot een oplossing leidt. Het zal duidelijk zijn dat dit werk veel tijd kost.

5.4 De problemen

Een eerste probleem heeft te maken met het gebrek aan een duidelijke handleiding. Handboeken over het roosteren van verplegend personeel behandelen alleen algemene aanbevelingen wat betreft het roosteren. Ze voorzien niet in praktische aanwijzingen voor het maken van een rooster. Het leren roosteren zal vooral gebeuren door het vaak te doen. Elke planner ontwikkelt zo zijn/haar eigen methode van roosteren. Het management van het ziekenhuis dat uiteindelijk verantwoordelijk is voor het rooster, heeft hier nauwelijks inzicht in, laat staan de planners van andere afdelingen.

Een tekort aan verplegend personeel is vaak ook één van de problemen waar een planner tegenaan loopt.

Al is het roosteren een taak die steeds weer terugkomt, toch is elke periode weer een nieuwe situatie. De planner krijgt steeds weer te maken met nieuwe patiënten, nieuwe verpleegsters, nieuwe wensen, enzovoorts, waaraan het nieuwe rooster aangepast dient te worden.

Hoe groter het aantal variabelen, des te moeilijker wordt het roosteren, omdat er hierdoor meer mogelijke oplossingen zijn. Een groot personeelsbestand heeft dus

als gevolg dat er meer mogelijkheden moeten worden vergeleken. Ook is het moeilijk om het overzicht te behouden bij een groot aantal werknemers. Door de genoemde problemen omvat het roosteren een complexe en moeilijke taak waar de planner vaak de enige blijkt te zijn die kennis heeft van de uitvoering ervan en de specifieke problemen hierbij.

5.5 Roosteren met behulp van Operations Research

Verscheidene wetenschappers hebben onderzoek gedaan naar het gebruik van gecomputeriseerde methoden voor het maken van beslissingen in het roosteren van verplegend personeel. Ook methoden uit de Operations Research zijn hierbij onder de loep genomen. Door de complexe werkomgeving waarin de planner opereert, zijn lang niet alle planningsmethoden geschikt. Het doel van Operations Research is om de kwaliteit van de beslissingen te verbeteren zodat het organisatorische proces hier voordeel van heeft. Kenmerkend van Operations Research is dat het probleem wordt gerepresenteerd in een algoritmisch model en dat de oplossing van het model gericht is op optimalisatie. Vervolgens wordt het ontwikkelde algoritme geïmplementeerd in een gecomputeriseerd systeem.

Verschillende algoritmen en methoden uit de Operations Research zijn in het verleden op het roosteringsprobleem losgelaten. In de volgende paragrafen zullen een aantal van deze methoden uitgebreid aan de orde komen:

- Lineaire Programmering (5.5.2)
- Bayesiaans Netwerk (5.5.3)
- Stochastische Optimalisering (5.5.4)

Lineaire Programmering (LP) is tegenwoordig een van de meest in de praktijk toegepaste wiskundige modellen (Tijms & Kalvelagen, 1994). Bij LP wordt de optimale waarde bepaald van een lineaire criteriumfunctie van verschillende beslissingsvariabelen. Deze variabelen moeten voldoen aan een aantal lineaire bijvoorwaarden. De rekenkracht van een computer is in praktische situaties vrijwel altijd nodig om een numerieke oplossing van een LP-model te vinden. Bij het bespreken van LP om het roosteringsprobleem op te lossen is gebruik gemaakt van het artikel "Building Better Nurse Scheduling Algorithms" van Aickelin en White (2002).

Een Bayesiaans netwerk is een grafisch model dat bestaat uit knopen en pijlen (Heckerman, 1996). Een knoop staat voor een variabele. Een pijl tussen twee knopen staat voor afhankelijkheid tussen de twee variabelen. Een Bayesiaans netwerk bevat geen circuit, dat wil zeggen dat een knoop niet meerdere malen bezocht kan worden.

Het principe van een Bayesiaans netwerk is dat een beslissing afhankelijk is van voorgaande beslissingen. Informatie van beslissingen uit het verleden wordt gebruikt om toekomstige beslissingen te verbeteren. Het principe van een Bayesiaans Netwerk is dat er geleerd wordt van eerder gemaakte beslissingen. Deze eerder gemaakte beslissingen worden ook wel 'ouders' genoemd. In paragraaf 5.5.3 wordt het roosteringsprobleem als Bayesiaans Netwerk geformuleerd. Deze paragraaf is gebaseerd op "A Bayesian Optimization Algorithm for the Nurse Scheduling Problem" van Li en Aickelin (2003).

Een Stochastisch Optimaliseringsprobleem behoort zowel tot het gebied van de Stochastische Programmering (SP) als tot dat van de geheeltallige programmering (van de Vlerk, 1995). In Stochastische Programmeringmodellen wordt de onzekerheid met betrekking tot modelparameters gemodelleerd door deze parameters op te vatten als (een functie van) een n-dimensionale toevalsvariabele wiens verdeling bekend wordt verondersteld. Omdat de waarde van de beslissingsvariabele moet worden gekozen voordat een realisatie van de toevalsvariabelen optreedt, ontstaan ontoelaatbaarheden met betrekking tot beperkingen die immers afhangen van deze realisaties. Het idee van zogenaamde recourse modellen is dat deze ontoelaatbaarheden worden geaccepteerd, maar achteraf dienen te worden gecompenseerd middels recourse acties. Zodoende geeft een bepaalde keuze voor de beslissingsvariabelen, bij een gegeven realisatie van de toevalsvariabelen, naast directe kosten ook aanleiding tot recourse kosten, namelijk de kosten verbonden aan de bijbehorende recourse acties. Vanuit wiskundig oogpunt zijn de verwachte recourse kosten een functie van de beslissingsvariabelen. Deze functie staat bekend als de verwachte waarde functie. Pierskalla en Miller (1974) beschrijven in het artikel "Nurse Allocation with Stochastic Supply" een situatie waarbij het aantal verpleegsters dat ingeroosterd dient te worden, wordt gedefinieerd als een vector met toevalsvariabelen. Hierdoor wordt het roosteringsprobleem een Stochastisch Optimaliseringsprobleem.

5.5.1 Het roosteringsprobleem concreet gemaakt

Om de toepassing van de verschillende methoden te bespreken, is het goed om het probleem concreet en praktisch te maken. De situatie die hieronder gegeven wordt is minder gecompliceerd dan de werkelijkheid en sommige aannames zullen anders zijn dan de Nederlandse situatie, maar het gaat erom dat de werking van de verschillende methoden duidelijk wordt gemaakt.

Er moet wekelijks een rooster gemaakt worden voor n verpleegsters door elke verpleegster aan een mogelijke shift toe te wijzen.

Dit rooster moet voldoen aan de werkcontracten van de verpleegsters en moet voorzien in het gevraagde aantal verpleegsters (met verschillende rangen) op elk moment van de week. Een tweede doel hierbij is om zoveel mogelijk te voldoen aan de wensen van de individuele verpleegsters. Verder zal geprobeerd worden zo eerlijk mogelijk om te gaan met 'onvervulde wensen' uit het verleden en de verdeling van onpopulaire shifts.

Het probleem wordt gecompliceerder door het feit dat hoog gekwalificeerde verpleegsters (met een hogere rang) de diensten van lager gekwalificeerde collega's kunnen vervullen, terwijl dit andersom niet kan/mag. Het is dus niet mogelijk de verschillende rangen onafhankelijk te roosteren. Verder heeft het probleem een speciale dag/nacht structuur omdat de verpleegsters gecontracteerd zijn om of de hele week 's nachts of de hele week overdag te werken, maar niet beide.

Omdat niet alle contracten gelijk zijn, is het belangrijk om de 'juiste' verpleegsters 's nachts en overdag te roosteren.

Het probleem bestaat uit twee delen:

- Op elk moment van de week voldoende verpleegsters aanwezig zijn.
- De dag- en nachtshifts moeten toegewezen worden aan de verpleegsters, elke verpleegster moet hierbij precies één shift toegewezen krijgen.

5.5.2 Lineaire Programmering

De volgende contracten zijn bekend:

- Een full time contract bestaande uit 5 dagen of 4 nachten
- Een part time contract bestaande uit:
 - of 4 dagen of 3 nachten
 - of 3 dagen of 3 nachten
 - of 3 dagen of 2 nachten

Elke mogelijke shift die door een verpleegster gedraaid kan worden, kan gerepresenteerd worden door een binaire vector met 14 elementen, waarbij de eerste zeven elementen staan voor de zeven dagen van de week en waarbij de laatste zeven elementen staan voor de corresponderende nachten. Een één in de vector betekent dat er gewerkt wordt op de betreffende dag of nacht, een nul houdt in dat de verpleegster vrij is. Het aantal shifts dat een verpleegster mogelijk kan werken hangt af van het contract dat de verpleegster heeft.

Een full time verpleegster, bijvoorbeeld, die of vijf dagen of vier nachten werkt, heeft totaal $\binom{7}{5} = 21$ mogelijke dagshifts en $\binom{7}{4} = 35$ mogelijke nachtshifts.

Het probleem kan geformuleerd worden als een Lineair Programmeringprobleem met de volgende beslissingsvariabelen en parameters:

Beslissingsvariabele:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{als verpleegster } i \text{ shift } j \text{ werkt} \\ 0, & \text{anders} \end{cases}$$

Parameters:

I = aantal verpleegsters

J = aantal mogelijke shifts

S = aantal verschillende rangen

$$a_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{als shift } j \text{ dagdeel } k \text{ dekt} \\ 0, & \text{anders} \end{cases}$$

$$q_{is} = \begin{cases} 1, & \text{als verpleegster } i \text{ rang } s \text{ of hoger heeft} \\ 0, & \text{anders} \end{cases}$$

p_{ij} = boetekosten omdat verpleegster i shift j werkt (tegen de wensen in)

R_{ks} = aantal benodigde verpleegsters met rang s of hoger op dagdeel k

D_i = set met mogelijke dagshifts voor verpleegster i

N_i = set met mogelijke nachtshifts voor verpleegster i

$F(i) = D_i + N_i$ = set met mogelijke shifts van verpleegster i

Optimaliseringsfunctie:

$$\text{Minimaliseer } \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J p_{ij} x_{ij}$$

Onder:

1. Elke verpleegster draait precies 1 shift

$$\sum_{j \in F(i)} x_{ij} = 1, \quad \forall i$$

2. Op elk moment van de week zijn voldoende verpleegsters (van elke rang) aanwezig.

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J q_{is} a_{jk} x_{ij} \geq R_{ks}, \quad \forall k, s$$

Met behulp van de rekenkracht van computers en geschikte software is dit LP-probleem goed op te lossen voor kleinere problemen. Wanneer het aantal verpleegsters, shifts en rangen groter wordt, is één van de volgende methoden wellicht meer geschikt.

5.5.3 Bayesiaans Netwerk

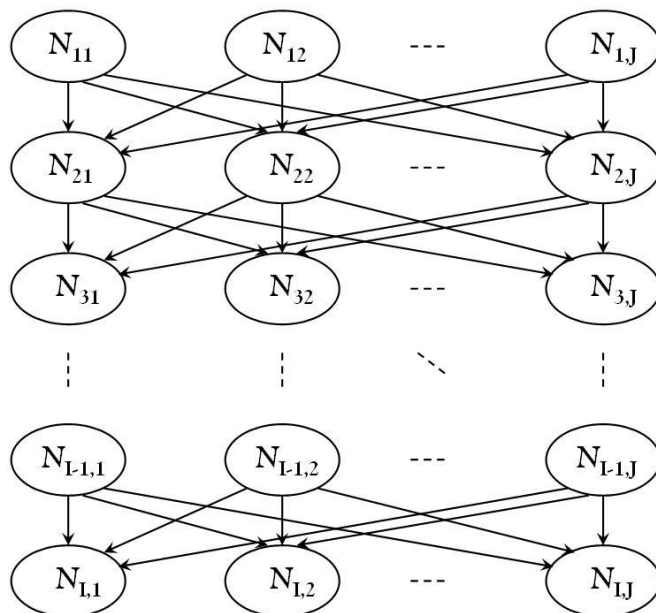
In het roosteringsprobleem wat in paragraaf 5.4.1 beschreven is, is het doel een wekelijks rooster te krijgen door zo efficiënt mogelijk iedere verpleegster toe te wijzen aan een shift.

Met behulp van een Bayesiaans netwerk wordt steeds een nieuwe shift aan een verpleegster toegevoegd met behulp van het gebruik van een geschikte (roosterings)regel uit een verzameling met beschikbare regels. Bij het kiezen van een geschikte regel wordt gebruik gemaakt van resultaten uit het verleden. Het doel van het netwerk is een rooster waarbij de kosten zo laag mogelijk zijn, terwijl de verpleegsters zo tevreden mogelijk zijn.

Een mogelijke oplossing wordt gerepresenteerd als een serie regels corresponderend met de individuele verpleegsters, vanaf de eerste tot de laatste. Menselijke planners maken hun roosters met behulp van regels die gebaseerd zijn op hun ervaring met het roosteren. Vanwege de menselijke beperkingen zijn de regels vaak vrij eenvoudig, maar toch kunnen de roosters kwalitatief goed zijn, omdat de planners met het 'gezond verstand' in staat zijn om te variëren in regels, afhankelijk van de situatie.

De taak is echter vaak te intensief en tijdrovend. De regels die in het volgende Bayesiaanse netwerk worden gebruikt, zijn ook relatief eenvoudig.

Figuur 5.1 geeft het Bayesiaanse netwerk voor het roosteringsprobleem voor verpleegsters. Het is een hiërarchische en acyclische graaf die de oplossingsstructuur van het probleem gepresenteert.



Figuur 5.1 Bayesiaans Netwerk

De knoop N_{ij} ($i \in \{1,2,\dots,I\}$; $j \in \{1,2,\dots,J\}$) geeft aan dat verpleegster i wordt toegevoegd door het gebruik van regel j , waarbij J het aantal te gebruiken regels is en I staat voor het aantal in te roosteren verpleegsters.

In dit netwerk wordt een mogelijke oplossing gerepresenteerd als een pad van verpleegster 1 (N_{1j}) tot verpleegster I (N_{Ij}) die in totaal J knopen met elkaar verbindt.

Het principe

De methode die beschreven wordt, is een heuristische methode die gebruik maakt van het Bayesiaanse Netwerk uit figuur 5.1. Allereerst wordt een groot aantal willekeurige paden gekozen door het netwerk. Deze populatie noemen we $P(0)$. Voor alle roostering behorend bij de paden uit $P(0)$ wordt een 'totaalscore' berekend. Deze totaalscore is gelijk aan de criteriumfunctie uit het Lineaire Programmeringsprobleem en wordt gegeven door:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J p_{ij} x_{ij}$$

Aan de hand van deze totaalscores wordt een nieuwe selectie paden $S(0)$ gemaakt: paden met een hoge totaalscore worden met grote kans geselecteerd, paden met een kleine totaalscore worden met kleine kans geselecteerd. Met behulp van $S(0)$ worden de conditionele kansen $P(N_{i+1,j'} | N_{ij})$ berekend.

Een beslissing voor een bepaalde regel is afhankelijk van voorafgaande beslissingen. De kans dat een knoop $N_{i+1,j}$ bezocht zal worden vanuit knoop N_{ij} is volgens de Bayesiaanse theorie:

$$P(N_{i+1,j'} | N_{ij}) = \frac{P(N_{i+1,j'}, N_{ij})}{P(N_{ij})} = \frac{\#(N_{i+1,j'} = true, N_{ij} = true)}{\#(N_{i+1,j'} = true, N_{ij} = true) + \#(N_{i+1,j'} = false, N_{ij} = true)}$$

Deze conditionele kansen worden gebruikt bij het genereren van een nieuwe populatie $P(1)$. Ook voor deze paden wordt de totaalscore berekend. $S(1)$ wordt op dezelfde manier als $S(0)$ verkregen, alleen nu met behulp van $P(1)$. Met behulp van $S(1)$ wordt de populatie $P(2)$ verkregen, enzovoorts. Wanneer er geen enkele verbetering meer optreedt in de totaalscores van de roosteringen behorend bij de verkregen paden, wordt de roostering (of één van de roosteringen) met de hoogste score toegepast.

De volgende vier regels kunnen gebruikt worden bij het toewijzen van een shift aan een verpleegster:

- *Random regel*

Deze regel kiest een willekeurige verpleegster en laat deze een willekeurige shift draaien. Het doel van deze regel is het vergroten van de zoekruimte, om ervoor te zorgen dat men niet in een lokaal optimum blijft steken.

- *k-Goedkoopste regel*

Deze regel kiest k willekeurige shifts en verpleegsters en kijkt welke combinatie verpleester-shift de laagste boetekosten p_{ij} geeft en laat deze verpleegster i shift j werken.

- *Cover regel*

Deze regel is lastiger dan de twee voorgaande regels. Deze regel kijkt naar alle mogelijke combinaties verpleegster-shift. De combinatie die het meeste dagdelen dekt waar nog niet voldoende verpleegsters zijn ingedeeld, wordt gekozen. Om te voorkomen dat verpleegsters met hoge rangen 'verspild' worden met shifts die ook door verpleegsters met een lagere rang kunnen worden gedraaid, wordt eerst gekeken naar de dagdelen die gevuld moeten worden met verpleegsters met de hoogste rang. Wanneer deze voldoende verpleegsters met hoge rang hebben, kunnen de overige dagdelen worden toebedeeld.

Bij deze regel wordt niet gekeken naar de boetekosten p_{ij} .

- *Contribution regel*

De contribution regel houdt wél rekening met de wensen van de individuele verpleegsters en kijkt dus wel naar de boetekosten p_{ij} . Er wordt gekeken naar alle mogelijke shifts die een willekeurige verpleegster zou kunnen werken. Aan elke shift wordt een score toegekend die gebaseerd is op de boetekosten p_{ij} en het aantal benodigde verpleegsters dat nodig is op de dagdelen die gedekt worden door de shift.

Deze score s_{ij} wordt berekend door:

$$s_{ij} = w_p(100 - p_{ij}) + \sum_{s=1}^S w_s q_{is} \left(\sum_{k=1}^{14} a_{jk} d_{ks} \right)$$

Waarbij:

$$d_{ks} = \begin{cases} 1, & \text{als er nog verpleegsters met rang } s \text{ nodig zijn op dagdeel } k \\ 0, & \text{anders} \end{cases}$$

w_s = het gewicht dat gegeven wordt voor het dekken van een ongedekte shift voor rang s

w_p = het gewicht van de waarden p_{ij} voor de betreffende shift

5.5.4 Stochastische Optimalisering

In paragraaf 5.5.2 is het gegeven roosteringsprobleem geformuleerd als een Lineair Programmeringsprobleem.

In deze paragraaf formuleren we het roosteringsprobleem als een Stochastisch Optimaliseringsprobleem. Bij dit probleem hebben we ook weer te maken met een roostering van verpleegsters met verschillende rangen. In dit geval worden verpleegster van meerdere afdelingen ingeroosterd. Verpleegsters behoren tot een bepaalde afdeling, maar zijn eventueel ook inzetbaar op de andere afdelingen.

Het aantal beschikbare toe te wijzen verpleegsters wordt gedefinieerd als een vector met toevalsvariabelen. Het model heeft dus te maken met een situatie waarin het aanbod van verpleegsters onzeker is.

Beslissingsvariabele:

y_{ijkm} = aantal verpleegster met rang i van afdeling j toegewezen op afdeling m als verpleegster met rang k

Parameters:

a_{ijkm} = aantal verpleegster met rang k van afdeling m dat gelijkwaardig is met één verpleegster met rang j van afdeling i

u_{ijkm} = benedengrens van de variabelen y_{ijkm} , met $u_{ijkm} \geq 0$

\bar{r}_{km} = bovengrens van het aantal verpleegsters met rang k op afdeling m

\underline{r}_{km} = ondergrens van het aantal verpleegsters met rang k op afdeling m

c_{ijkm} = kosten van het toewijzen van verpleegster met rang i van afdeling j naar afdeling m met rang k

Z_{ij} = aantal beschikbare toe te wijzen verpleegsters met rang i van afdeling j . Dit is een toevalsvariabele

J = aantal afdelingen waarvan verpleegsters kunnen worden toegewezen

M = aantal afdelingen waarnaar verpleegsters kunnen worden toegewezen

I = aantal rangen in de J afdelingen

K = aantal rangen in de M afdelingen

We nemen aan dat de z_{ij} 's onafhankelijk zijn. Verder nemen we aan dat de verpleegsters van vrij van en naar elke afdeling kunnen worden ingezet, dit betekent dat $J = M$ en $I = K$.

Optimaliseringsfunctie:

$$\text{Minimaliseer } \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M c_{ijkm} y_{ijkm} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J E_{Z_{ij}} \min\{q_{ij}(v_{ij}) \mid v_{ij} = Z_{ij} - \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M y_{ijkm}; v_{ij} \text{ onbegrensd}\}$$

Onder:

1. Op elke afdeling j zijn voldoende, maar niet teveel verpleegsters met rang i ingedeeld

$$\underline{r}_{km} \leq \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_{ijkm} y_{ijkm} \leq \bar{r}_{km}, \quad \forall k=1, \dots, K \text{ en } m=1, \dots, M$$

2. Alle toewijzingen y_{ijkm} moeten geheeltallig en minimaal u_{ijkm} zijn

$$y_{ijkm} \geq u_{ijkm}, \forall i,j,k,m \text{ en } y_{ijkm} \text{ is geheeltallig } \forall i,j,k,m$$

De eerste set termen van de optimaliseringsfunctie staat voor de directie toewijzingskosten.

De tweede set staat voor de verwachte recourse kosten. Deze recourse kosten zijn de kosten die behoren bij de recourse acties v_{ij} , waarbij $v_{ij} + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M y_{ijkm} = z_{ij}$. z_{ij} is hierbij een realisatie van de random variabele Z_{ij} .

We kunnen opmerken dat $v_{ij} = Z_{ij} - \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M y_{ijkm}$ gelijk is aan het aanbod van verpleegsters met rang i van afdeling j en het totale aantal verpleegsters met rang i van afdeling j dat toegewezen is over alle afdelingen. Wanneer $v_{ij} < 0$, kunnen we denken aan kosten voor het vragen van verpleegsters om over te werken, bij $v_{ij} > 0$, kunnen we denken aan kosten voor verpleegsters die wel willen werken, maar niet of gedeeltelijk ingedeeld zijn.

De eerste eis moet ervoor zorgen dat op elke afdeling voldoende (maar niet teveel) verpleegsters met de juiste rang zijn ingedeeld. Omdat verpleegsters van verschillende afdelingen met verschillende rangen niet dezelfde capaciteiten en bevoegdheden hebben of niet hetzelfde aantal uur werken, wordt het aantal ingedeelde verpleegsters van afdeling j met rang i dat ingedeeld is als verpleegster met rang k op afdeling m (y_{ijkm}) aangepast met de "gelijkwaardigheidsratio" a_{ijkm} . De tweede eis plaatst een ondergrens u_{ijkm} aan alle toewijzingen y_{ijkm} . Tenslotte moeten alle toewijzingen uiteraard geheeltallig zijn, halve verpleegsters toewijzen is niet mogelijk.

De waarden die de variabele Z_{ij} kan aannemen is afhankelijk van het aantal verpleegsters met rang i van afdeling j dat ingeroosterd moeten worden. Wanneer dit aantal gelijk aan n is, kan de variabele Z_{ij} de waarden $0, 1, \dots, n-1, n$ aannemen.

Z_{ij} is dus element van de verzameling $\{z_{ij}^1, \dots, z_{ij}^{L^j}\}$, waarbij L^j staat voor het aantal verpleegsters met rang i van afdeling j dat ingeroosterd dient te worden.

$$Z_{ij} = z_{ij}^l \text{ met de kans } p_{ij}^l, \text{ waarbij } 0 \leq p_{ij}^l \leq 1, \forall i,j,l \text{ en } \sum_{l=1}^{L^j} p_{ij}^l = 1, \forall i,j.$$

Aangezien de verzameling van geschikte v_{ij} 's bestaat uit één punt voor elke i en j , kunnen we opmerken dat voor elke i en j geldt:

$$\begin{aligned} & \min\{q_{ij}(v_{ij}) \mid v_{ij} = Z_{ij} - \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M y_{ijkm}; v_{ij} \text{ onbegrensd}\} \\ & = q_{ij}(Z_{ij} - \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M y_{ijkm}) \end{aligned}$$

Deze conclusies leiden tot de volgende beschrijving van de verwachte recourse kosten:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J E_{Z_{ij}} q_{ij}(Z_{ij} - \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M y_{ijkm}) \\ &= \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^{L^j} p_{ij}^l q_{ij}(z_{ij}^l - \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M y_{ijkm}) \end{aligned}$$

Omdat v_{ij} zowel positieve als negatieve waarden kan aannemen, kiezen we voor de functie $q_{ij}(\cdot)$ de volgende kwadratische functie:

$$q_{ij}(\alpha) = \begin{cases} e_{ij}\alpha^2, & \text{als } \alpha < 0 \\ b_{ij}\alpha^2, & \text{als } \alpha \geq 0 \end{cases}$$

waarbij e_{ij} staat voor de kosten voor het overwerken en b_{ij} staat voor de kosten van het niet-werken van welwillende verpleegsters.

Deze functie dwingt de uiteindelijke toewijzingen y_{ijkm} op zo'n manier dat de toewijzingen van verpleegsters van afdeling j met rang k zo goed mogelijk aan het verwachte aanbod voldoet.

Het Optimaliseringsprobleem kan nu worden geschreven als:

$$\begin{aligned} \text{Minimaliseer } & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M c_{ijkm} y_{ijkm} + \\ & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^{L^j} p_{ij}^l q_{ij}(z_{ij}^l - \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M y_{ijkm}) \end{aligned}$$

Onder:

1. Op elke afdeling j zijn voldoende, maar niet teveel verpleegsters met rang i ingedeeld

$$\underline{r}_{km} \leq \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_{ijkm} y_{ijkm} \leq \bar{r}_{km}, \quad \forall k=1, \dots, K \text{ en } m=1, \dots, M$$

2. Alle toewijzingen y_{ijkm} moeten geheeltallig en minimaal u_{ijkm} zijn $y_{ijkm} \geq u_{ijkm}, \quad \forall i, j, k, m$ en y_{ijkm} is geheeltallig $\forall i, j, k, m$

Oplossings procedure

De oplossingsprocedure van dit probleem zal niet gegarandeerd optimaal zijn in verband met het grote aantal mogelijke oplossingen. Bij een relatief klein probleem met drie verschillende rangen en vier afdelingen, waarbij $\underline{r}_{km} = 5$ en $\bar{r}_{km} = 7$, is het aantal mogelijke oplossingen bijvoorbeeld als in de orde van 10^{54} . Dit betekent dat algoritmes die alle mogelijke oplossingen nagaan onuitvoerbaar zijn.

Voor dit probleem maken we gebruik van een cyclische zoekmethode.
De variabelen y_{ijkm} schrijven we in matrixvorm:

$$\begin{array}{cccc}
 Y_{1111} & Y_{1211} & \cdots & Y_{IJ11} \\
 Y_{1112} & Y_{1212} & \cdots & Y_{IJ12} \\
 \vdots & \vdots & & \vdots \\
 Y_{11KM} & Y_{12KM} & \cdots & Y_{IJKM}
 \end{array}$$

Elke rij staat voor een vaste rang en afdeling waaraan verpleegsters worden toegewezen. Elke kolom staat voor een vaste rang en afdeling waarvan verpleegsters worden toegewezen. De diagonaal met de elementen y_{kkmk} geeft aan hoeveel verpleegsters werken met hun eigen rang en in hun eigen afdeling. Een bijna-optimale oplossing zal hoogst waarschijnlijk een toewijzing zijn waarbij deze diagonaalelementen relatief hoge waarden bevatten. Het ligt voor de hand dat verpleegsters zo veel mogelijk binnen de eigen afdeling en met de eigen rang zullen werken. Verschillen in vraag en aanbod kunnen dan aangevuld worden met verpleegsters met andere rangen en/of van andere afdelingen. Deze intuïtieve aanname wordt gebruikt bij het kiezen van de initiële oplossing. Alle elementen y_{kkmk} in de diagonaal krijgen de waarde r_{km} , terwijl alle overige elementen y_{ijkm} de waarde 0 krijgen. Vervolgens wordt er binnen de matrix gezocht naar een betere oplossing.

Het zoeken naar een betere oplossing gebeurt door het paarsgewijs wijzigen van twee waarden, één uit de diagonaal en één van buiten de diagonaal. Dit zoeken kan in twee richtingen: horizontaal en verticaal.

- Horizontale richting: twee waarden uit dezelfde rij worden paarsgewijs gewijzigd. De som van deze waarden blijft wel gelijk waardoor het totaal van de waarden in alle rijen ook gelijk blijft. Het aantal toegewezen verpleegsters met rang i op afdeling j blijft dus gelijk. De samenstelling van deze verpleegsters is echter wel veranderd. Hiermee zal geprobeerd worden de recourse kosten te verlagen.
- Verticale richting: twee waarden uit dezelfde kolom worden paarsgewijs gewijzigd. Nu wordt geprobeerd de directe toewijzingskosten te verlagen door toelaatbare oplossingen te vinden die dezelfde recourse kosten hebben, maar lagere directe toewijzingskosten.

Zolang er verbeteringen in het dienstrooster optreden, dat wil zeggen, minimalisering van de optimaliseringsfunctie, wordt er doorgegaan met zoeken naar betere oplossingen. Wanneer geen verbetering meer wordt gevonden, stopt het zoeken en wordt de beste oplossing gekozen.

Hoofdstuk 6

Conclusie

In dit werkstuk hebben we kunnen lezen dat het gebruik van Operations Research wel gebruikt wordt binnen de gezondheidszorg, maar op relatief kleine schaal. Het zal duidelijk zijn dat er nog een groot werktein ligt binnen de gezondheidszorg voor mensen uit de OR wereld. Een betere verstandhouding tussen gezondheidszorg en OR is daarvoor wel nodig, want er is nog (te) weinig vertrouwen in de Operations Research vanuit de gezondheidszorg.

Een andere oorzaak voor de relatief kleine inbreng van OR in de gezondheidszorg is te wijten aan de verschillende belangen binnen de gezondheidszorg. De neuzen staan niet dezelfde kant op en het is niet duidelijk in wiens belang Operations Research moet zijn.

Een betere verstandhouding tussen beide partijen is noodzakelijk. Wederzijds begrip en vertrouwen kunnen een goede basis zijn voor een verdere ontwikkeling van OR technieken en methoden binnen de gezondheidszorg.

Toch staat de OR momenteel niet helemaal langs de zijlijn. Toepassingen zijn te vinden op zowel strategisch, tactisch als operationeel niveau. Zo heeft ORTEC speciale software ontwikkeld voor het roosteren van ziekenhuispersoneel.

Literatuur

- Aickelin, Uwe & White, Paul
Building Better Nurse scheduling Algorithms. *Submitted to Annals of OR Special issue on Rostering, 2002*
- Askew, Mike
IMS Health Meets Data Analysis and Business-Decision Support Demand with Microsoft Technology, 2002
<http://www.microsoft.com/uk/casestudies/caseStudy.asp?CaseStudieID=55>
- Beasley, John E.
Basic OR Concepts, *Personal Homepage, 1990*
- Carter, Michael
Diagnosis: Mismanagement of Resources. *OR/MS TODAY, April, 2002*
- Flagle, Charles D.
Some Origins of Operations Research in the Health Services. *Operations Research Journal, Vol. 50, pag. 52-60, 2002*
- Fleuren, Hein
Operations Research in de Praktijk: Een ware Odyssee, *Oratie, Katholieke Universiteit Brabant, 2001*
- Garrambone, Michael W.
Origins of Operations Research: Science at War. *18th Military Operations Research Society Educational Colloquium, Naval Postgraduate School, Monterey, California, April 2003*
- Glouberman, Sholom & Mintzberg, Henry
Managing the Care of Health and the Cure of Disease - Part I: Differentiation. *Health Care Management Review, Vol. 26, pag. 56-69, 2001*
- Glouberman, Sholom & Mintzberg, Henry
Managing the Care of Health and the Cure of Disease - Part II: Integration. *Health Care Management Review, Vol. 26, pag. 70-84, 2001*
- Heckerman, David
A Tutorial on Learning with Bayesian Networks. *Learning in Graphical Models, MIT Press, 1996*
- Hyperdictionary.com
Online Dictionary
<http://www.hyperdictionary.com>

- den Hertog, Dick
Hart en rede in de besliskunde, *Oratie, Katholieke Universiteit Brabant, 2001*
- Informs.org
Informs Online
<http://www.informs.org>
- Kallenberg, Lodewijk C.M.
Operations Research Technieken, *Collegediktaat Universiteit Leiden, Voorjaar 2003*
- Korsten, A.F.A., ter Braak, H.J.M. & van 't Spijker, W.J.H.
Strategisch beleid en management bij de overheid, *Bestuurskunde, Vol. 2, pag. 8-22, 1993*
- van der Lee, Cornelis
Ziekenhuisfusies, procesgang en resultaten – beschouwing vanuit enkele Neo-institutionele en organisatiekundige theorieën. *Proefschrift, Rijksuniversiteit Groningen, 2000*
- Levecq, Hugues
Management Decision Making, Baruch College, New York, 2002
http://cisnet.baruch.cuny.edu/levecq/May02_2200.ppt
- Li, Jingpeng & Aickelin, Uwe
A Bayesian Optimization Algorithm for the Nurse Scheduling Problem.
Submitted for 2003 Congres on Evolutionary Computation, 2003
- Mietus, Dirkje, M.
Understanding planning for effective decision support, A cognitive task analysis of nurse scheduling. *Proefschrift, Rijksuniversiteit Groningen, 1994*
- Mintzberg, Henry
Structures in fives: designing effective organizations. *Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1983*
- Pierskalla, William P. & Brailer, David J.
Applications of Operations Research in Health Care Delivery. *Handbooks in OR&MS, Vol. 6, pag. 496-505, 1994*
- Pierskalla, William P. & Miller, Holmes E.
Nurse Allocation with Stochastic Supply. *Research Report, No. 37-74-P7, Department of Industrial Engineering and Management Sciences, Northwestern University, Evanston, Illinois, Augustus 1974*
- Tijms, H.C. & Kalvelagen, E.M.F.
Modelbouw in de Operations Research. *Academic Service, Schoonhoven, 1994*

van der Vlerk, Maarten H.

Stochastic Programming with Integer Recourse. *Capelle aan den IJssel:
Labyrint Publication – Thesis Rijksuniversiteit Groningen, 1995*

de Waard, Dick, A.

Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen in de zorgsector – Een
onderzoek onder Nederlandse ziekenhuizen. *Ernst & Young, Oktober, 2002*