

Toewijzingstrategieën in callcentra met kleine skillgroepen

Pim Thomassen
onder begeleiding van
Ger Koole

BWI-werkstuk

Vrije Universiteit Amsterdam
Faculteit der Exacte wetenschappen
De Boelelaan 1081a
1081 HV Amsterdam

Augustus 2009

Samenvatting

Dit BWI-werkstuk behandelt de vraag die speelt in callcentra met zogenaamde kleine skillgroepen. Dit zijn multiskill callcentra waarbij de vraag naar een van de skills significant kleiner is dan de vraag naar de grotere skill.

De centrale vraag die we ons stellen is: “Welke call-toewijzingsstrategieën zijn het meest effectief in deze situatie?” We bespreken een aantal van deze strategieën die gebruikt worden en doen een aantal suggesties voor uitbreidingen hierop. Deze uitbreidingen zijn gericht op het sturen op meerdere factoren. De factoren die wij identificeren als mogelijkheden om op te sturen zijn de volgende:

- Prioriteit van calls en agenttoewijzing
- Reservering van agenten
- Maximale rijlengte van de te ondersteunen skill
- Maximale wachtduur van een klant van de te ondersteunen skill

Op basis van deze factoren formuleren wij een aantal strategieën en laten zien wat hun gevolgen voor de effectiviteit zijn in twee verschillende situaties, één waarin de personele bezetting nog bepaald moet worden en de ander met een bestaande personele bezetting.

Uit beide gevallen blijkt dat het sturen op een OF-type scenario het beste werkt. Voor deze strategieën vinden we dat het reserveren van een agent gecombineerd met een maximale wachtduur van call van de te ondersteunen skill het beste werkt in het geval dat het model van het callcenter accuraat is. Zit er meer onzekerheid in het proces is het beter om de strategie van sturen op maximale rijlengte of maximale wachtduur van de klant te kiezen. Deze heeft bij een vaststaand scenario het nakijken op basis van de bezettingsgraad maar dit is precies datgene dat hem instaat stelt afwijkingen in de aantallen aankomsten op te kunnen vangen.

Summary

In this BMI-thesis we discuss the issues faced by callcenters with small skillgroups. The multiskill callcenters we discuss deal with an unbalanced arrival process of calls, the demand for a specific skill type might be up to a factor 100 smaller than that of the larger. This leads to the so called small skillgroups.

The central question is: “Which call distribution strategies are the most effective in these type of callcenters?”. We discuss several strategies used by the industry and suggest some extensions. These extensions focus on implementing strategies that allow us to assign calls based on multiple factors. We identify these factors to be:

- Priority of calls and agent assignment to such calls
- Reservation of agents
- Maximum length of the queue for the skill to be supported
- Maximum waiting time for a customer of the skill to be supported

Given these factors we suggest some strategies en we show their effects on the effectiveness in two different situations. In one of these situations the personnel has not yet been planned and in the other we work with a predetermined personel plan.

In both situations we find that distributing calls on the basis of an OR-type strategy gives us the most effective solution. When the model of the callcenter is exactly known, we find that a strategy of reservation of an agent and a maximum waiting time gives us the best result, in both servicelevel as well as occupancy. If the model is surrounded by more uncertainty we suggest the usage of the strategy in which we distribute calls on the basis of maximum length of the queue combined with a maximum waitingtime. This performs somewhat less on a known situation but is better equipped to handle extra load, as the base occupancy is lower.

Inhoudsopgave

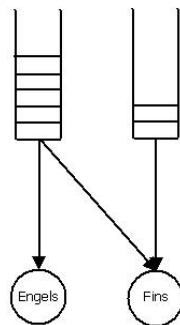
1	Introductie	5
2	Toewijzingsstrategieën	7
2.1	Basisstrategieën	8
2.1.1	Naïeve strategie	8
2.1.2	Naïef met prioriteit	8
2.1.3	Naïef met prioriteit en overflow	9
2.1.4	Harde agent reservering	9
2.1.5	Zachte agent reservering	9
2.1.6	Sturen op rijlengte	9
2.1.7	Sturen op wachtduur	10
2.2	Gemengde toewijzingsstrategieën	11
2.2.1	Agent reservering en sturen op rijlengte	11
2.2.2	Agent reservering of wachtduur overschrijding	11
2.2.3	Sturen op rijlengte of wachtduur overschrijding	12
2.2.4	Agent reservering en sturen op rijlengte of wachtduur	12
3	Vergelijkingen tussen toewijzingsstrategieën	13
3.1	Optimale strategieën voor minimale bezetting	13

3.2	Optimale strategieën bij vaststaande bezetting	15
4	Conclusies	20
5	Verder werk	22
A	Appendices	23
A.1	resultaten voor “Optimale strategieën met minimale bezetting”	24
A.2	resultaten voor “Optimale strategieën bij vaststaande bezetting”	26

Hoofdstuk 1

Introductie

Dit paper behandelt en vergelijkt een aantal toewijzingsstrategieën voor calls in multiskill callcentra. Hierbij zijn we vooral geïnteresseerd in het effect van deze toewijzingsstrategieën op callcentra waarbij twee typen calls binnenkomen. De situatie waarop we onze strategieën hebben getest is grafisch gezien als volgt.



Figuur 1.1: situatieschets van ons callcenter

Zoals we kunnen zien hebben we twee skillgroepen, één groep agenten spreekt alleen Engels en de andere spreekt naast Engels ook Fins. Logischerwijs dient de grootte van deze twee groepen afgestemd te zijn op het aantal calls dat voor ieder type binnenkomt. In onze situatie komen er veel meer Engelse dan Finse calls binnen. Per uur hebben we het over ongeveer 500 Engelse calls en slechts 5 Finse calls ieder met een gemiddelde behandelduur van 4 minuten. Dit lijkt te leiden tot het feit dat we slechts enkele Fins sprekende agenten nodig zullen hebben om het servicelevel te halen voor zowel de Finse calls als de Engelse. En omdat er maar zo weinig Finse calls zijn lijkt het ook logisch om Fins sprekende agenten te laten helpen met het beantwoorden van Engelse calls. We zien in figuur 1.1 dat de manier waarop calls door het systeem kunnen stromen een N vormen, deze situatie wordt dan ook wel een N-type routing genoemd en wordt onder andere beschreven in (Garnett en Mandelbaum 2000).

Dit paper zal een aantal strategieën zoals men deze in de praktijk gebruikt worden als ook alternatieve toewijzingsstrategieën bespreken. We zullen ons vooral richten op de volgende vraag:

“Wat is de invloed van call-toewijzingsstrategieën op de effectiviteit van multiskill callcentra met kleine skillgroepen?”

Deze vraag zal besproken worden aan de hand van een aantal subvragen die meteen ook de leidraad vormen voor de rest van dit document. In hoofdstuk 2 zullen we de in de dagelijkse praktijk gebruikte en de door ons voorgestelde toewijzingsstrategieën besproken worden. Hier direct op volgend vinden we in hoofdstuk 3 de resultaten van onze test met betrekking tot het vergelijken van de verschillende strategieën op ons scenario. Dit valt in twee delen uiteen. In paragraaf 3.1 worden de resultaten van de voorgestelde strategieën als we proberen met zo min mogelijk agenten, en dan met name Finse, de vastgestelde servicelevels te halen besproken. In paragraaf 3.2 zullen we, gegeven een specifiek scenario, de performance bespreken van deze strategieën aan de hand van de behaalde servicelevel en de bezettingsgraad van zowel de Engelse als de Fins sprekende agenten. In hoofdstuk 4 zullen we proberen tot een aantal conclusies en aanbevelingen te komen voor het toepassen van de besproken strategieën in multiskill callcentra waarbij de calls zeer onevenwichtig binnenkomen. Ten slotte zullen we in hoofdstuk 5 een aantal richtingen aangeven waarin dit onderzoek verder kan worden uitgebreid.

Hoofdstuk 2

Toewijzingsstrategieën

In deze sectie zullen we de elf toewijzingsstrategieën bespreken die we hebben getest met ons simulatieprogramma. Een toewijzingsstrategie bestaat feitelijk uit twee keuzes, te weten:

- De manier waarop calls toegewezen worden aan agenten.
- De manier waarop agenten toegewezen worden aan wachtende calls.

De uiteindelijk strategie kunnen we bepalen aan de hand van een slechts een klein aantal factoren. Als eerste van deze factoren is er de skills die een agent bezit. Iemand die geen Fins spreekt zal nooit toegewezen worden aan een Finse call maar wat doen we met mensen die zowel Fins als Engels spreken? De tweede is de prioriteit van de calls. Willen we bijvoorbeeld dat Finse calls altijd eerst afgehandeld worden door een Fins sprekende agent of moet deze gewoon de volgende in de rij helpen? De derde is hoeveel agenten we willen reserveren voor een specifieke skill en dat kan vervolgens weer op twee manieren, hard en zacht. Hierbij betekent hard dat we van te voren zeggen dat een aantal van de agenten zich altijd bezig zal houden met in ons geval Finse calls en dat de anderen altijd de eerst volgende call afhandelt met de hoogste prioriteit. En zacht betekent dat we op het moment dat een call binnenkomt kijken of er nog genoeg Fins sprekende agenten beschikbaar zijn als we deze call nu aannemen, en op het moment dat een Fins sprekende agent vrijkomt kijken of er daardoor weer genoeg agenten beschikbaar zijn dat de op dat moment langst wachtende agent de eerst volgende call met de hoogste prioriteit kan afhandelen. Als vierde kunnen we sturen op de lengte van de wachtrij. In ons geval, de Fins sprekende agenten helpen de Engels sprekende agenten slechts dan met het afhandelen van hun calls als de rijlengte van diezelfde Engelse calls te lang wordt. Als vijfde en laatste parameter om op te sturen kunnen we de wachttijd van de langstwachttende call gebruiken. Dit is in veel opzichten gelijk aan de vierde mogelijkheid om op te sturen maar dan wat fijnmaziger. In dit geval zal, om bij

onze voorbeeldsituatie te blijven, een Engelse klant alleen geholpen worden door een Fins sprekende agent als de wachttijd meer dan een bepaalde tijd bedraagt.

2.1 Basisstrategieën

In dit deel zullen we een aantal strategieën bespreken die slechts sturen op een enkele parameter. In alle gevallen behalve in dat van de “Naïeve strategie” zullen Finse calls prioriteit krijgen. Dit betekent dat Fins sprekende agenten altijd eerst Finse calls zullen behandelen als deze aan het wachten zijn en dat binnenkomende Engelse calls bij voorkeur door een Engels sprekende agent zullen worden afgehandeld.

2.1.1 Naïeve strategie

Dit is de simpelste van de te bespreken strategieën. In deze situatie zal een aankomende call altijd naar de langst beschikbare agent gaan, mits hij de skill bezit om de call af te handelen. De andere kant op, als er een agent vrijkomt zal altijd de dan langstwachende call geholpen worden, natuurlijk weer mits de agent de skill bezit. In ons geval betekent dit dat de Fins sprekende agenten altijd de eerst volgende call behandelen als ze als langste staan te wachten of vrij komen en dat de Engels sprekende agenten altijd de eerst beschikbare Engelse call zullen afhandelen. Hoewel dit een logische strategie lijkt is in het geval van een callcentrum met kleine skillgroepen zoals wij deze beschouwen niet erg effectief zoals we zullen zien in paragraaf 3.2

2.1.2 Naïef met prioriteit

Dit is de eerste verandering die meestal wordt doorgevoerd als blijkt dat de naïeve strategie niet werkt, maar is op de prioritering na hetzelfde. Een Finse call gaat altijd naar een Fins sprekende agent zoals dat ook al het geval was in de originele strategie alleen als er nu een Fins sprekende agent vrijkomt zal hij eerst kijken of er nog Finse calls zijn. Zo ja, zal hij de langstwachende hiervan als eerste helpen. Als er geen Finse calls meer zijn wordt de langstwachende Engelse call te woord gestaan. De Engels sprekende agenten doen weer het zelfde als voorheen en dit zal ook niet veranderen bij andere strategieën. Dit komt natuurlijk doordat Engels sprekende agenten geen keuze hebben ze moeten wel Engelse calls behandelen aangezien zij het Fins niet machtig zijn. Tevens gaat bij deze strategie een binnenkomende call altijd naar de langstwachende agent.

2.1.3 Naïef met prioriteit en overflow

Ten opzichte van de Naïef met prioriteit-strategie verschilt deze maar in één opzicht. Binnenkomende calls worden niet langer meer toegekend aan de langst-wachtende agent. Dit betekent dat als er een Engelse call binnenkomt deze in eerste instantie toegewezen zal worden aan de langst-wachtende Engels sprekende agent en alleen als er geen Engels sprekende agenten meer beschikbaar zijn zal de call toegewezen worden aan een Fins sprekende agent. Dit principe heet overflow en wordt onder andere besproken in (Koole en Talim 2000). Finse calls blijven naar Fins sprekende agenten gaan als zij binnenkomen of worden in de rij gezet.

2.1.4 Harde agent reservering

Hierbij zeggen we van te voren dat een aantal agenten gereserveerd wordt. Deze zullen nooit een Engelse call aannemen omdat we doen alsof zij het Engels niet machtig zijn. Er wordt dus op voorhand besloten dat deze mensen alleen Finse calls zullen behandelen. De rest van de Fins sprekende agenten volgt de Naïeve strategie met prioriteit en overflow.

2.1.5 Zachte agent reservering

In tegenstelling tot de harde reservering word er niet een vast aantal agenten toegewezen aan alleen de Finse calls. Alle beschikbare Fins sprekende agenten kunnen potentieel op deze manier ook Engelse klanten behandelen. We reserveren alleen wel agenten op basis van hoeveel Fins sprekende agenten er nog beschikbaar zijn. Dit impliceert dat we op twee momenten kijken naar het aantal beschikbare agenten. Als er een Engelse call binnenkomt en als er een Fins sprekende agent vrij komt. Bij binnenkomst van de Engelse call kijken we of er meer dan het opgegeven aantal Fins sprekende agenten beschikbaar zijn als de call niet afgehandeld kan worden door een Engels sprekende agent. Als dit het geval is wordt de Engelse call behandeld door de Fins sprekende agent, zo niet gaat de klant in de wacht. Als er een Fins sprekende agent vrijkomt kijkt hij in eerste instantie of er nog Finse calls zijn. Zo nee kijken we of er minstens een gelijk aantal agenten vrij zijn als dat we gereserveerd hebben. Als dit het geval is zal de agent zelf even een rustpauze nemen en de op dat moment langst-wachtende Fins sprekende agent zal de eerst volgende Engelse call in behandeling nemen.

2.1.6 Sturen op rijlengte

In dit geval kijken we als er een Engelse call binnenkomt of er nog Engels sprekende agenten vrij zijn. Zo ja, wordt deze call direct door een Engels sprekende

agent in behandeling genomen is dit niet het geval dan plaatsen we deze nieuwe call in de rij. Mocht hierdoor de rijlengte hoger worden dan de opgegeven maximale rijlengte voordat Fins sprekende agenten Engelse calls gaan behandelen, het overschrijdt de zogenaamde threshold, dan zal een Fins sprekende agent de langstwachtede Engelse call behandelen. Het andere interessante geval is wat er gebeurt als een Fins sprekende agent beschikbaar komt. Ook hier zal, net als in het geval van de agentreserveringen eerst gekeken worden naar of er nog Finse calls staan te wachten. Zo niet dan kijken we naar de rijlengte van de Engelse calls. Als deze de ingestelde threshold overschrijdt dan helpen we de eerstvolgende wachtende Engelse klant en anders gaan we wachten totdat dit wel gebeurt of er een Finse call binnenkomt. Op deze manier reserveren we effectief ook agenten voor Finse calls. Deze techniek is fijnmaziger dan de agentreserveringen omdat we daar altijd gehele agenten zullen moeten reserveren. Met behulp van sturen op rijlengte kunnen we effectief ook een deel van een agent reserveren.

2.1.7 Sturen op wachtduur

Waarbij er in de overige gevallen binnen het simulatieprogramma eigenlijk alleen maar naar twee momenten gekeken wordt, komt er voor deze strategie een derde moment bij. Het moment dat de wachtduur van een klant een bepaalde threshold overschrijdt. We zullen de strategie op alle drie de momenten bespreken. Als een Engelse call aankomt dan kijken we eerst weer of er een Engels sprekende agent vrij is. Zoniet gaat hij direct in de rij. Dit omdat een aankomende call nog geen wachtduur heeft en deze call beïnvloedt ook de wachtduur van anderen niet. We maken wel een nieuw moment om te evalueren aan, we moeten tenslotte dingen gaan doen als deze klant langer dan de threshold wacht. Als de threshold voor de wachtduur van een klant overschreden wordt weten we al dat er geen Engels sprekende agenten meer beschikbaar zijn. Waren ze dat wel dan had de klant al niet meer in de rij gestaan. We hoeven dus enkel te kijken of er op dat moment een Fins sprekende agent beschikbaar is. Is dit het geval dan helpt hij deze klant. Is er niemand meer beschikbaar zal de klant in de rij moeten blijven staan. Dan is er het moment dat er een Fins sprekende agent beschikbaar komt en er geen Finse calls meer in de wachtrij staan. De eerstvolgende Engelse klant zal dan geholpen worden, mits deze klant al langer dan de opgegeven threshold aan het wachten is. Als er een Engels sprekende agent vrijkomt zal hij sowieso de eerst volgende Engelse klant helpen, dit leidt er toe dat de gebeurtenis waarbij de wachttijd van de call overschreden wordt nooit zal plaatsvinden en deze moet dan ook uit het systeem verwijderd worden, of deze gebeurtenis heeft al plaatsgevonden en is dus al uit het systeem verwijderd. Deze manier van agentreservering is nog fijnmaziger dan sturen op rijlengte omdat we nu ook agenten kunnen reserveren op basis van de wachtduur van de rij. Als de rij langer wordt loopt de wachttijd wel op maar we kunnen niet sturen op halve personen in de wachtrij. Deze strategie laat ons dit effectief wel doen.

2.2 Gemengde toewijzingsstrategieën

De overige strategieën zijn allen mengvormen van bovenstaande, en zullen dus qua techniek niet uitgebreid besproken worden. Wel zullen we hun plaats in het geheel bespreken. Bij een agentreservering zullen we gebruik maken van de zachte techniek omdat deze meer flexibiliteit biedt. Tevens zullen alle strategieën ook gebruik maken van de principes van prioritering en overflow zoals besproken in subparagraaf 2.1.3. De strategieën “agent reservering of rijlengte”, “agent reservering en wachtduur”, “rijlengte en wachtduur” en “agent reservering en rijlengte en wachtduur” worden niet besproken. De eerste laten we buiten beschouwing omdat sturen op de rijlengte een grovere versie van sturen op wachtduur is, zoals besproken is in paragraaf 2.1. De eerste EN-strategie bespreken we niet apart omdat deze in principe te emuleren valt met de methode die we bespreken in subparagraaf 2.2.4 en ook uitgebreid getest wordt via die methode. Ook zal uit de resultaten van de tests al snel blijken dat het voor onze situatie niet zinnig is om EN-strategieën te implementeren. Om deze reden wordt ook “rijlengte en wachtduur” en “agent reservering en rijlengte en wachtduur” buiten beschouwing gelaten en zijn de methoden om deze strategieën te evalueren niet geïmplementeerd in het door ons ontwikkelde simulatieprogramma. We bespreken “agent reservering en rijlengte wel” om een indicatie te geven van de effecten van een EN-strategie die niet meteen alles omvattend is.

2.2.1 Agent reservering en sturen op rijlengte

De strategie van het reserveren van een agent voor Finse calls en tevens sturen op rijlengte zorgt ervoor dat in het geval het relatief rustig is met betrekking tot de Engelse calls een Fins sprekende agent niet ingezet wordt zodat deze beschikbaar is voor Finse calls. Dit zal de bezettingsgraad van de Fins sprekende agenten drukken maar het behaalde servicelevel voor de Finse calls omhoog stuwen. Aan de andere kant zorgt deze strategie ervoor dat zelfs als het vrij druk is bij de Engels sprekende agenten dat er altijd een aantal Fins sprekende agenten beschikbaar blijven voor het behandelen van binnenkomende Finse calls.

2.2.2 Agent reservering of wachtduur overschrijding

Deze strategie zal altijd het opgegeven aantal Fins sprekende agenten zacht reserveren behalve als de wachtduur van de langst wachtende Engelse call een bepaalde threshold overschrijdt. Dit heeft als voordeel dat in het geval het erg druk is bij de Engels sprekende agenten er alsnog iemand kan bijspringen, terwijl als de wachtduren korter zijn dan de opgegeven threshold een Fins sprekende agent niet nodeloos gaat helpen. Op deze manier zorgen we er voor dat bij lange wachttijden we zoveel mogelijk mensen inzetten om de bezettingsgraad van de Engelse calls te waarborgen terwijl als deze al gehaald wordt we agenten reserveren voor Finse calls zodat dit servicelevel ook gehaald kan worden.

2.2.3 Sturen op rijlengte of wachtduur overschrijding

Deze strategie moet er voor zorgen dat Fins sprekende agenten bijspringen op het moment dat het erg druk wordt of als de calls opeens langduriger worden. Als de gemiddelde Engelse call langer duurt zal dit leiden tot langere wachttijden voor Engelse klanten en zal het serviceniveau dalen. Hetzelfde geldt voor een lange wachtrij, als er veel calls zijn loopt de wachtrij op en dus ook de tijd totdat er geholpen kan worden. Door deze toewijzingsstrategie te gebruiken kunnen we er voor zorgen dat dit serviceniveau niet te ver wegzakt doordat we de wachtduur van de langstwachtede beperken. In het geval van korte wachttijden en een korte rij kunnen de Fins sprekende agenten zich volledig richten op de Finse calls terwijl als een van de twee thresholds overschreden wordt er direct bijgesprongen kan worden.

2.2.4 Agent reservering en sturen op rijlengte of wachtduur

De strategie die hier besproken zal worden combineert eigenlijk de strategieën uit subparagrafen 2.2.1 en 2.2.3. Het voordeel hiervan boven de strategie uit subparagraaf 2.2.3 is dat er een minimaal aantal beschikbare agenten wordt afgesproken en dat de overige Fins sprekende agenten ook gereserveerd worden voor Finse calls behalve als de rijlengte of de wachtduur van de Engelse calls extreem oploopt. Het voordeel boven de strategie uit 2.2.1 is dat de niet gereserveerde agenten eerder ingezet zullen worden. Er zijn namelijk nu twee situaties waarin we gaan helpen. Als er opeens heel veel calls vlak achter elkaar komen of als de behandelduur van de Engelse calls opeens naar boven gaat.

Hoofdstuk 3

Vergelijkingen tussen toewijzingsstrategieën

Dit hoofdstuk valt in twee delen uiteen. Het eerste deel handelt over optimale strategieën als de bezetting nog niet vaststaat. De tweede paragraaf behandelt optimale scenario's in het geval de bezetting al vast staat.

Beide situaties behandelen het callcenter uit de introductie en zullen de volgende gegevens gebruiken voor het model:

- 500 Engelse calls per uur
- 5 Finse calls per uur
- 4 minuten per call als gemiddelde behandelduur
- 50000 runs

3.1 Optimale strategieën voor minimale bezetting

Optimaal is moeilijk te bepalen aangezien we geen manier hebben om de kosten van een strategie te bepalen. We weten wel dat personeelskosten het zwaarst drukken op de winst die een callcenter behaalt. Wat de invloed is van calls die het vastgestelde servicelevel niet halen of van een relatief lage bezettingsgraad van een agent is, is niet te kwantificeren zonder meer data. Gegeven dat we de mogelijkheid niet hebben om de kosten te bepalen zullen we onze eigen definitie van optimaal, in het geval van ons callcenter, moeten opstellen. Optimaal is dan datgene dat er voor zorgt dat we zo min mogelijk personeelskosten hebben, waarbij we aannemen dat het huren van een Fins en Engels sprekende agent

duurder is dan een agent die alleen Engels spreekt. Verder nemen we aan dat de kosten van een call die het vastgestelde servicelevel niet haalt hoger zijn dan de kosten van een agent die een lage bezettingsgraad heeft.

We weten dat als geld geen rol zou spelen dat we makkelijk kunnen zeggen wat optimaal is. Iedereen zou in zo'n geval zowel Engels als Fins spreken. Als we dan de gegevens van ons callcentrum doorrekenen met behulp van Erlang C, zoals deze bijvoorbeeld te vinden is op www.vumc.nl/afdelingen/pica/Software/Calc3/, dan vinden we dat ons servicelevel van 80% van alle calls binnen 20 seconden beantwoord gehaald kan worden met 39 agenten.

Ook kunnen we zeggen wat het slechtst mogelijke geval is. Namelijk als we alle calls afhandelen alsof het twee aparte callcenters zijn. We verliezen dan de voordelen van schaalvergroting en we zullen meer agenten in dienst moeten nemen om het zelfde servicelevel te behalen. Als we de berekeningen hiervoor wederom met Erlang C doen zien we dat we 2 Fins sprekende agenten nodig hebben om het servicelevel te halen voor Finse calls en nog steeds 39 Engels sprekende agenten om hetzelfde te bewerkstelligen voor de binnenkomende Engelse calls. Dit leidt tot een callcenter van 41 agenten.

Beide bovenstaande scenario's zijn ook uitgevoerd met ons simulatieprogramma en dienen als referentiepunt voor het bepalen van een optimale verdeling. We weten nu, gegeven het bovenstaande, dat we het met 39 agenten af zouden moeten kunnen maar ook dat een optimaal scenario nooit en te nimmer meer dan 41 agenten zal bevatten.

Als we kijken naar de resultaten zien we dat we de strategieën in twee categorieën kunnen opdelen. De categorie waarbij we minstens 40 agenten nodig hebben en die waarbij we het afkunnen met de optimale 39. Opvallend hierbij is dat de strategieën die slechts sturen op één aspect, zoals agentreserveringen, rijlengte of wachtduur, 40 agenten nodig hebben. Deze agenten worden ingezet als 38 Engels sprekende agenten en 2 Finse. We zien bij de strategie van zachte agent reservering dat het behaalde servicelevel hoger ligt dan bij de harde agent reservering maar dat het tegenovergestelde waar is voor de bezettingsgraad. Aangezien we gesteld hebben dat een hoger servicelevel beter is dan een hogere bezettingsgraad zullen we bij alle overige technieken die agentreserveringen gebruiken de zachte reserveringsstrategie gebruiken.

Van de overige methoden kunnen de gemengde strategieën waarbij er minstens 1 van de 2 condities waar moet zijn, het af met 39 agenten. Dit zijn de strategieën waarbij we een agentreservering mengen met een maximale wachtduur en die waarbij we sturen op rijlengte of wachtduur. Bij deze strategieën komen we uit op 34 Engels sprekende agenten en 5 Fins sprekende. Ook zien we bij die scenario's waarin we verschillende vormen van prioriteitstoekenning gebruiken dat we uit kunnen komen op 39 agenten. Hoewel we alleen kunnen stellen dat die situatie waarin we volledige prioriteit toekennen aan Finse calls en het zolang mogelijk beschikbaar houden van Fins sprekende agenten op een significantieniveau van 1% verschilt met de andere twee vormen, de naïeve techniek en de naïeve techniek die geen gebruikt maakt van het overflow algoritme. Van de strategie zonder prioriteitstoekenning aan Finse calls tot aan die met

de meeste prioriteit is het benodigde aantal Fins sprekende agenten respectievelijk 12, 10 en 8. In dit laatste geval zien we ook een significante val in de bezettingsgraad van de Fins sprekende agenten.

Grote afwezigingen in deze bespreking zijn die strategieën waarbij er zowel een agent gereserveerd als op een andere vorm gestuurd wordt. Dit heeft er mee te maken dat we feitelijk, door een EN conditie te implementeren, trachten net iets meer dan één agent te reserveren. Binnen ons scenario blijken we er eigenlijk net iets minder dan 1 gereserveerd nodig te hebben waarbij de OF conditie ons beter helpt. We zien dat in ons geval deze EN-strategieën daarom ook leiden tot een optimum als we of alleen de conditie van de een of alleen de conditie van de ander gebruiken. Dus als we kiezen voor de strategie “agent reservering en sturen op rijlengte” (uit subparagraaf 2.2.1) dan kiezen we voor de strategie agent reservering zacht (uit subparagraaf 2.1.5) aangezien deze significant beter is dan die uit subparagraaf 2.1.6.

Alle scenario's en hun resultaten uit deze sectie zijn te vinden in appendix A.1 evenals de resultaten van de onderlinge T-Toetsen. Deze T-Toetsen zijn een manier om te bepalen of de onderliggende verdelingen van twee (normaal verdeelde) variabelen significant van elkaar verschillen. Dit kan door een eenzijdige of tweezijdige T-toets uit te voeren. Bij een eenzijdige toets kijken we of de waarden naar een enkele specifieke zijde uitwijken ten opzichte van elkaar. Dus we kunnen kijken of de gevonden waarden groter danwel kleiner zijn. Bij een tweezijdige toets kijken we eigenlijk of de gemiddelden anders zijn. We weten niet of het verschil tussen de variabelen positief of negatief zal zijn en we testen beide tegelijk. Feitelijk controleren we of het verschil tussen de twee gemiddeldes ongelijk is aan nul, gegeven de gemiddeldes en standaarddeviatie van beide variabelen. De variabelen die wij behandelen zijn de resultaten van een tweetal strategieën en dienen bij benadering normaal verdeeld te zijn. Dit is het geval aangezien de resultaten uit de subruns van het programma waaruit ze zijn geconstrueerd bij benadering normaal verdeeld zijn en onafhankelijk. Dit is het geval indien iedere subrun voldoende lang is. Zie ook (Thijms 2002, p431–433) voor een uitgebreidere bespreking van de methode, de batch-means methode, die we gebruiken om de betrouwbaarheidsintervallen te genereren, en welke ervoor zorgt dat alle onderliggende verdelingen de normale verdeling zijn en er dus voldaan wordt aan de voorwaarde van de T-Toets. Voor een diepgaandere bespreking van de tweezijdige T-toets voor variabelen met ongelijke varianties zoals wij deze gebruiken verwijzen wij de lezer naar (Ruxton 2006).

3.2 Optimale strategieën bij vaststaande bezetting

In deze paragraaf zullen we op basis van een vaststaand scenario optimale strategieën testen om aan te tonen wat het effect van deze strategieën is en de daarmee behaalde resultaten onderling vergelijken. In de vorige paragraaf hebben we gezien dat het niet in alle gevallen mogelijk is om met slechts 39 agenten

een werkbare oplossing te verkrijgen. We kiezen er hier dan ook voor om met 40 agenten te werken. Deze zullen als volgt verdeeld zijn, 37 Engels sprekende agenten en 3 Fins.

Als we de resultaten bekijken zien we direct dat alle drie de naïeve methoden het gewenste serviceniveau niet halen. Dit wordt veroorzaakt doordat Fins sprekende agenten te vaak worden ingezet voor het behandelen van Engelse calls. Hoewel in het geval van de naïeve strategie met prioriteit voor Finse calls en het overflow mechanisme het servicelevel voor Finse calls bijna gehaald wordt. We zien wel weer direct dat de bezettingsgraad voor de Fins sprekende agenten ver inzakt.

Als we naar de resultaten van de T-toetsen kijken zien we dat, zoals verwacht, elke strategie een significant ander resultaat behaalt dan de anderen. We zien dat naarmate de strategie complexer wordt het servicelevel voor de Finse calls terugloopt maar dat de bezettingsgraad van de Fins sprekende agents oploopt. Het is dus zaak om deze twee elementen te balanceren. De strategie die hier het beste in lijkt te slagen is wederom, net als in paragraaf 3.1, de strategie van een zachte agentreservering en het sturen op wachtduur. Doordat we een OF-strategie hanteren zal er eerder geholpen worden aangezien er eerder volstaan wordt aan een van de twee condities. Kijkend naar de resultaten van de strategie waarbij we een zachte agentreservering toepassen zien we dat we de servicelevels op die manier makkelijk halen. Waarschijnlijk zelfs té makkelijk aangezien het servicelevel van de Finse klanten op 95,5% uitkomt en de bezettingsgraad slechts op 41,5%. De wachttijd die we hanteren in deze strategie ligt onder die we gebruiken in het geval van de strategie van enkel sturen op wachtduur. Dit zorgt ervoor dat de Fins sprekende agenten eerder gaan helpen. Op deze manier worden de Fins sprekende agenten beter benut ten koste van het servicelevel van de Finse calls. Het algemene servicelevel voor alle calls ligt voor de combinatiestrategie significant hoger dan van de losse strategieën.

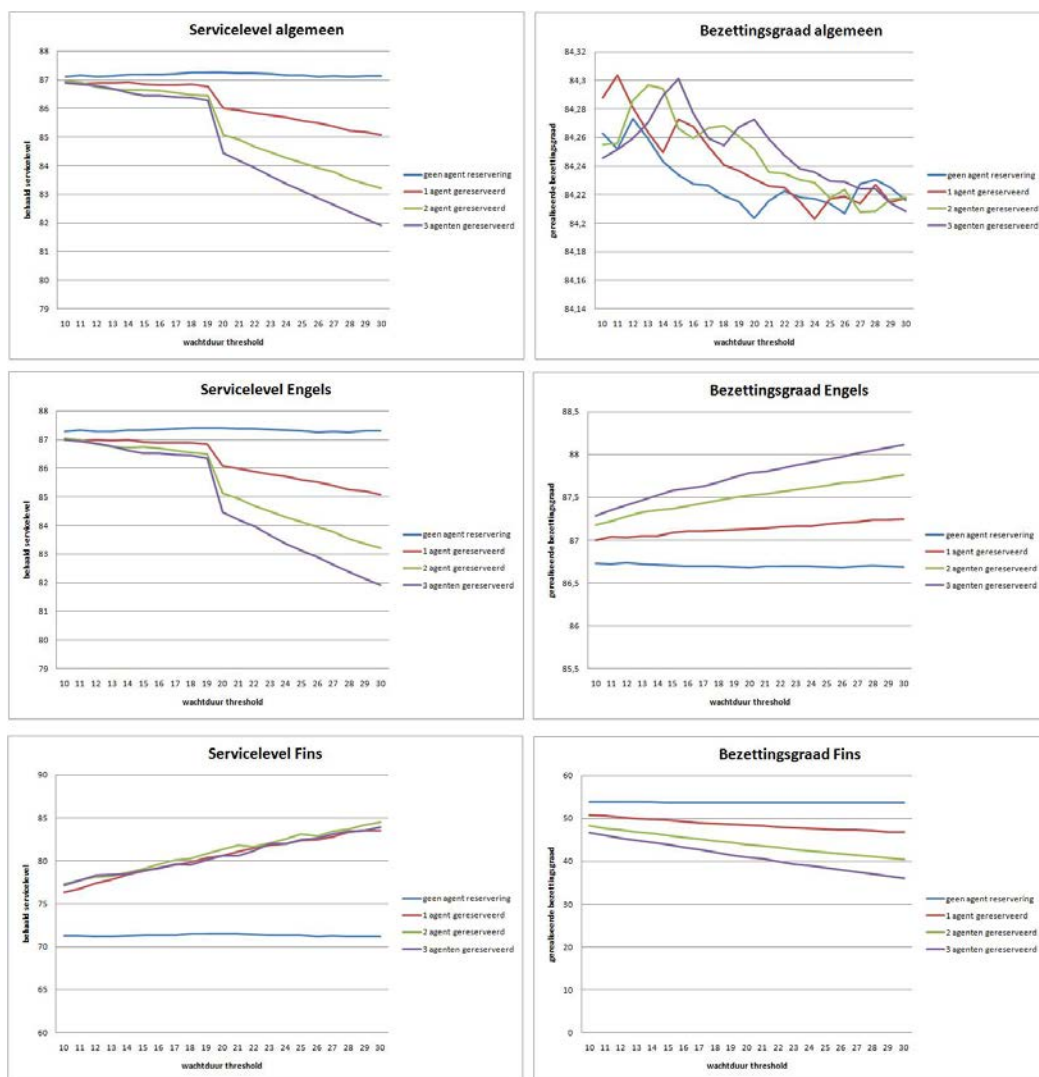
Ook in de tests die we hier hebben uitgevoerd zien we de gemengde strategieën met een EN-conditie niet terug om dezelfde redenen als gegeven in de vorige paragraaf. We hebben nog steeds minder dan 1 gereserveerde agent nodig om de te behalen servicelevels te realiseren.

Van alle besproken strategieën worden de slechtste prestaties geleverd door de strategie waarin we sturen op rijlengte. We hebben de maximale rijlengte op 3 ingesteld zodat het volledige betrouwbaarheidsinterval boven de 80% ligt. Dit zodat we in 95% van alle herhaalde experimenten de gestelde servicelevels halen. Als we de rijlengte op 2 brengen valt de ondergrens hier net onder hoewel de prestatie in termen van bezettingsgraad van de Fins sprekende agenten met bijna 3.5% verbetert van 37.89% naar 41.32%.

Gegeven de resultaten uit de vorige en deze paragraaf lijkt de agent reserverings strategie waarbij geholpen wordt als de wachtduur te hoog oploopt optimaal. Om de validiteit van deze aanname te testen diepen we de resultaten van deze strategie nog wat verder uit.

In de grafieken op de volgende pagina ziet men het verloop van het servicele-

vel en de bezettingsgraad bij verschillende hoeveelheden agenten, uitgezet tegen de wachtduur. Van boven naar onder ziet men het verloop voor het gehele callcenter, de Engels sprekende agents en de Fins sprekende agents. Dit kan gezien worden als een gevoeligheidsanalyse voor de parameters van de strategie bij een gegeven scenario.



Figuur 3.1: De effecten van parameter wijzigingen

Zoals we in de bovenstaande figuur kunnen zien is er een duidelijk verband tussen de wachtduur, het aantal gereserveerde agenten en het servicelevel. Het verband tussen deze parameters en de bezettingsgraad is met name in het geval van de algemene situatie niet direct duidelijk. In zowel het servicelevel van het gehele callcenter als die van de Engelse calls zien we een zeer kenmerkende knik zo rond de threshold van 20 seconden. Dit is te verklaren uit het feit dat we ons servicelevel bepaald hebben als 80% moet binnen 20 seconden geholpen zijn.

Deze is compleet afwezig uit het continu groeiende servicelevel van de Finse calls, hieruit blijkt dat de invloed van de threshold inderdaad maar èèn kant op werkt. Verder zien we dat naarmate we meer agenten reserveren de servicelevels van de Engelse calls sneller zien dalen en de bezettingsgraden op een soortgelijke manier zien stijgen in het geval van de Engels sprekende agenten en dalen in het geval van de Fins sprekende. Als we deze twee bezettingsgraden combineren krijgen we de grillige vorm van de bezettingsgraad voor het gehele callcenter.

Er worden twee bijzondere gevallen weergegeven. Die waarin er geen enkele Fins sprekende agent gereserveerd wordt en die waarin alle Fins sprekende agenten in principe gereserveerd worden. In het geval dat geen enkele Fins sprekende agent gereserveerd wordt zien we dat de bezettingsgraden voor zowel Engels als Fins sprekende agenten nooit echt veranderen over alle waarden van de threshold van de wachtduur. Dit zien we ook voor het servicelevel van de Engelse calls. Dit komt doordat de wachtduur nooit relevant is in dit geval. Als er agenten vrij zijn zullen die helpen en het moment dat de threshold van een wachtende overschreden wordt zal er nooit een agent vrij zijn of de klant was al geholpen. De complete strategie wordt dus bepaald door de reservering van het aantal Fins sprekende agenten. Aan de andere kant als we alle Fins sprekende agenten reserveren zien we dat enkel de threshold op de wachtduur nog effect heeft. De bezettingsgraad van de Engels sprekende agenten stijgt evenredig met de daling van de bezettingsgraad van de Fins sprekende agenten. En we zien het servicelevel voor zowel de Engelse calls als voor het gehele callcenter het hardst teruglopen van alle geteste parameters. We kunnen dus stellen dat als er meer agenten gereserveerd worden de invloed van de threshold op wachtduur hoger is dan als er minder agenten specifiek aan Finse calls worden toegekend.

Dit was de gevoeligheid voor de parameters van de strategie zelf de vraag die dan opkomt is “hoe gevoelig is deze strategie voor veranderingen van parameters in het model?” Deze hebben we getest tegen de tot nog toe op één na beste strategie, die waarin we helpen als de wachtrij een bepaalde lengte overschrijdt of de wachtduur van de langst wachtende klant te ver oploopt. We hebben enkel gekeken naar afwijkingen van het model waarbij de werkdruk hoger wordt. Dit betekent dus meer mensen of een langere callduur. We hebben de strategieën gelijk gehouden aan de gevonden strategieën in deze paragraaf.

Al snel bleek dat met de hoeveelheid calls die dit callcenter te verwerken krijgt een kleine afwijking naar boven van de gemiddelde callduur er toe leidt dat er grote tekorten ontstaan. Ter vergelijking: het optimale aantal agenten voor de huidige situatie is 39, voor een situatie waarin een call 15 seconden langer duurt 42 en bij een halve minuut loopt dit op tot 44 agenten. We hebben dan de tijdsfactor ook verder buiten beschouwing gelaten en alleen gekeken naar afwijkingen in het aantal aankomende calls. Op de volgende pagina vindt men de situaties die we vergeleken hebben met de resultaten uit deze paragraaf:

- 505 Engelse en 5 Finse calls (1% meer Engelse calls)
- 510 Engelse en 5 Finse calls (2% meer Engelse calls)
- 500 Engelse en 6 Finse calls (20% meer Finse calls)

- 505 Engelse en 6 Finse calls
- 510 Engelse en 6 Finse calls

We zien dat de beide strategieën niet extreem gevoelig lijken voor veranderingen in het aantal aankomsten. In het slechtste geval is de verandering slechts 5% voor het servicelevel waarbij de val in het servicelevel van de Finse calls hoger ligt dan de val van het servicelevel van de Engelse calls. We zien dat de twee strategieën elkaar niet ver ontlopen als we kijken naar de Engelse calls en agenten of het callcenter in het algemeen. De verschillen zitten hem voornamelijk in de Finse calls. We zien hier dat de strategie waarbij gestuurd wordt op rijlengte of wachtduur het beter doet. De strategie heeft namelijk om te beginnen een lagere bezettingsgraad. Dit betekent dat er meer overcapaciteit is en dat de strategie dus de veranderingen beter kan opvangen. Dit is dan ook precies wat er gebeurt en hierdoor wordt de val in servicelevel beter beperkt dan in het geval we een agent reserveren of sturen op wachtduuroverschrijding.

Van al deze tests, met uitzondering van die weergegeven in figuur 3.1, zijn de volledige resultaten terug te vinden in A.2.

Hoofdstuk 4

Conclusies

We hebben in dit werkstuk een antwoord gezocht op de vraag:

“Wat is de invloed van call-toewijzingsstrategieën op de effectiviteit van multiskill callcentra met kleine skillgroepen?”

We hebben twee situaties bekeken, één waarin de bezetting nog niet vast stond en we dus konden bepalen hoeveel mensen we inzetten. In de andere situatie stond de bezetting alvast en was de mogelijkheid aanwezig dat de gestelde servicelevel niet gehaald worden. In het eerste geval bracht dit met zich mee dat alle situaties konden voldoen en ook moesten voldoen aan de te behalen servicelevels. In het tweede geval was het mogelijk dat de servicelevels niet gehaald werden. We hebben gezien dat in beide situaties de zogenaamde EN-strategieën niet goed werkten. Dit heeft er mee te maken dat in het geteste callcenter er gemiddeld minder dan 1 agent nodig is om aan het servicelevel voor Finse calls te halen. Wat we zien in onze resultaten is dat danwel het ene deel van de strategie tot het beste resultaat leidt of het andere deel maar dat gezamenlijk het leidt tot suboptimalisatie. De EN-strategieën lijken wel een grote potentie te hebben voor situaties waarin we nog voorzichtiger moeten zijn met het inzetten van Fins sprekende agenten voor Engelse calls.

In het geval dat we zelf de bezetting mogen bepalen zien we dat alleen de OF-strategieën met significant minder Fins sprekende agenten uitkonden terwijl zij ook in staat bleken met het minimaal aantal agenten van 39 uit te kunnen. Zowel de strategie waarbij er een agent gereserveerd wordt of Fins sprekende agenten beschikbaar gesteld worden als de wachtduur teveel oploopt als de strategie waarbij er op rijlengte en wachtduur wordt gestuurd doen het erg goed in deze situatie.

Hetzelfde zien we bij het scenario waarin de bezetting al vast staat. Verder zien we dat die strategieën waarbij we geen andere toewijzingsstrategie gebruiken dan het prioriteren van Fins calls naar Fins sprekende agenten en het zolang

mogelijk beschikbaar houden van deze agenten het nooit halen onder dit scenario. En dat de EN-scenario's weer hun optimum vinden in een van de twee deelstrategieën.

Aangezien we tot tweemaal toe hebben gezien dat de OF-strategieën tot het beste resultaat leiden en ook dat de gevoeligheid voor de fouten in de invoerparameters van het model van het callcenter relatief klein zijn, kunnen we stellen dat deze strategieën tot de hoogste effectiviteit leiden van multiskill callcentra met kleine skillgroepen. Onze voorkeur gaat uit naar het gebruik van de agentreservering in combinatie met een threshold op de overschrijding van de wachtduur in gevallen dat de validiteit van het model al gewaarborgd is. Omdat deze strategie, zoals we gezien hebben, over het algemeen leidt tot een hogere bezettingsgraad van de Fins sprekende agenten. In het geval dat het model met meer onzekerheid is omgeven adviseren we het te houden bij een combinatie van een threshold op de rijlengte en de wachtduur van de Engelse calls. Deze strategie heeft een lagere bezettingsgraad als het model precies goed is maar kan door dit feit ook beter afwijkingen in het model opvangen.

Hoofdstuk 5

Verder werk

We hebben gezien dat er strategieën zijn die beter werken voor callcenters zoals uit ons voorbeeld dan alleen werken met prioritering van calls. We hebben het dan over callcenters waarbij twee skillgroepen bestaan die zeer ongelijk verdeeld zijn.

Interessant verder onderzoek is hoe de conclusie uit dit werkstuk standhouden in het geval van callcenters met meer dan deze twee groepen. We hebben het dan met name over de situatie waarin er meerdere kleine skillgroepen zijn naast de hoofdgroep. Het vermoeden van de auteur is dat het, zolang het positieve effect op het servicelevel van de grootste skillgroep door de extra inzet van agenten uit de kleinere skillgroepen beperkt blijft, we deze kleinere skillgroepen kunnen zien als een apart evenwichtig samengesteld callcenter. Dit impliceert dat andere strategieën beter zullen werken tussen deze groepen en dat de impact van het iemand die meerdere skills uit de kleine skillgroepen beheerst groter zal zijn dan in ons geval. Hierdoor is het goed mogelijk dat we relatief veel agenten kunnen besparen in zo'n callcenter.

Verder is het interessant om te zien wat het effect is van een hogere werkdruk op de overige strategieën. Wat gebeurt er bij oplopende callduren of meer aankomsten? Worden deze dan relatief beter of nog slechter dan de door ons geïdentificeerde optimale strategieën?

Ook werk in het veld van software in automatische call distributiecentrales om het mogelijk te maken de door ons voorgestelde strategieën te implementeren in callcenters is een interessante optie als uitbreiding op dit werk. Maar hiervoor zal er eerst nog veel getest moeten worden met simulatieprogrammatuur om de validiteit van onze resultaten in verschillende situaties te testen. Dit om zeker te maken dat dit voldoende te generaliseren is om de kosten voor het ontwikkelen van deze software te rechtvaardigen.

*

Bijlage A

Appendices

In de tests gebruiken we de volgende kleuren

- Wit: de nulhypothese wordt niet verworpen.
- Groen: de hypothese wordt verworpen op een significantie niveau van 1%.
- Oranje: de hypothese wordt verworpen op een significantie niveau van 5%.

De nulhypothese waar aan gerefereerd wordt betreft de volgende, tweezijdige, T-Toets

- H_0 : het verschil tussen strategie A min B is nul.
- H_1 : het verschil tussen de twee strategieën is ongelijk nul.

Optimale scenario's met wisselende bezettingen zodat het servicelevel van 80 % gehaald wordt, ruwe data

	sd	ondergrens	bovengrens
Slechts mogelijke scenario			
39 engels, 2 fins, 2 fins gereserveerd (effectief 2 losse callcentres)			
verkorte resultaten			
servicelevel alg	0,83812	0,00605	0,02130
servicelevel Engels	0,83803	0,00511	0,02149
servicelevel Fins	0,95791	0,00355	0,03249
bezettinggraad	82,21577	0,18638	0,68121
bezettinggraad Engels	85,57917	0,20203	0,71107
bezettinggraad Fins	16,62936	0,44466	1,56508
best mogelijke scenario			
39 fins, iedereen multi skilled, geen engels			
verkorte resultaten			
servicelevel alg	0,81574	0,00716	0,02520
servicelevel Engels	0,81415	0,00723	0,02546
servicelevel Fins	0,97468	0,00329	0,03158
bezettinggraad	86,43195	0,20634	0,72625
bezettinggraad Engels	0,00000	0,00000	0,00000
bezettinggraad Fins	86,43195	0,20634	0,72625
noodzakelijk scenario onder half			
27 engels, 12 fins			
verkorte resultaten			
servicelevel alg	0,81667	0,00702	0,02470
servicelevel Engels	0,81347	0,00837	0,02945
servicelevel Fins	0,81670	0,00705	0,02482
bezettinggraad	86,43195	0,20635	0,72629
bezettinggraad Engels	86,53462	0,20838	0,73145
bezettinggraad Fins	86,38832	0,20827	0,73095
noodzakelijk scenario onder half met prio, zonder overflow			
29 engels, 10 fins			
verkorte resultaten			
servicelevel alg	0,81434	0,00719	0,02531
servicelevel Engels	0,81442	0,00722	0,02543
servicelevel Fins	0,80689	0,00770	0,02709
bezettinggraad	86,43195	0,20635	0,72628
bezettinggraad Engels	86,39108	0,21051	0,74099
bezettinggraad Fins	86,55049	0,19897	0,70032
noodzakelijk scenario onder half met prioriteit voor Fins			
31 engels, 8 fins			
verkorte resultaten			
servicelevel alg	0,81458	0,00719	0,02532
servicelevel Engels	0,81676	0,00792	0,02786
servicelevel Fins	0,81456	0,00722	0,02541
bezettinggraad	86,43195	0,20634	0,72627
bezettinggraad Engels	86,43399	0,54587	1,92131
bezettinggraad Fins	91,86078	0,12371	0,43543
noodzakelijk scenario onder strategie agent reservering zacht			
38 engels, fins 2, reserveer 1			
verkorte resultaten			
servicelevel alg	0,82646	0,00657	0,02314
servicelevel Engels	0,82650	0,00663	0,02319
servicelevel Fins	0,90714	0,00555	0,01952
bezettinggraad	86,37115	0,20125	0,70834
bezettinggraad Engels	86,78651	0,19598	0,68979
bezettinggraad Fins	36,47938	0,42866	1,50874
noodzakelijk scenario onder strategie agent reservering hard			
38 engels, fins 2, reserveer 1			
verkorte resultaten			
servicelevel alg	0,83287	0,00638	0,02259
servicelevel Engels	0,83267	0,00640	0,02252
servicelevel Fins	0,86303	0,00691	0,02434
bezettinggraad	86,27116	0,20128	0,70945
bezettinggraad Engels	86,59706	0,19277	0,67849
bezettinggraad Fins	40,07897	0,53817	1,89420
noodzakelijk scenario onder strategie rijlengte			
38 engels, fins 2, rijlengte 5			
verkorte resultaten			
servicelevel alg	0,83177	0,00578	0,02033
servicelevel Engels	0,83201	0,00578	0,02034
servicelevel Fins	0,80745	0,00920	0,03337
bezettinggraad	84,27119	0,20145	0,70903
bezettinggraad Engels	86,89425	0,18862	0,66483
bezettinggraad Fins	34,39499	0,69564	2,44843
noodzakelijk scenario onder strategie wachtduur			
38 engels, 2 fins, 40 seconden wachtduur			
verkorte resultaten			
servicelevel alg	0,82755	0,00599	0,02109
servicelevel Engels	0,82774	0,00599	0,02109
servicelevel Fins	0,80825	0,00987	0,03475
bezettinggraad	86,20652	0,20561	0,70408
bezettinggraad Engels	86,84818	0,21167	0,74500
bezettinggraad Fins	34,01502	0,73099	2,57286
noodzakelijk scenario onder strategie AGENT_WACHTDUUR			
34 engels, 5 fins, 1 reservering, 15 seconden wachtduur			
verkorte resultaten			
servicelevel alg	0,81258	0,00674	0,02372
servicelevel Engels	0,81264	0,00675	0,02377
servicelevel Fins	0,80700	0,00867	0,03053
bezettinggraad	86,41097	0,21880	0,77041
bezettinggraad Engels	90,43000	0,16422	0,57802
bezettinggraad Fins	50,08150	0,69441	2,33996
noodzakelijk scenario onder strategie RILEN/NTC_WACHTDUUR			
34 engels, 5 fins, main[] 3, 16 seconden wachtduur			
verkorte resultaten			
servicelevel alg	0,80463	0,00795	0,02798
servicelevel Engels	0,80464	0,00797	0,02804
servicelevel Fins	0,80368	0,01040	0,03662
bezettinggraad	86,36942	0,23685	0,83363
bezettinggraad Engels	91,39015	0,17087	0,60140
bezettinggraad Fins	52,22065	0,74327	2,61607

Optimale scenario's gegeven een vasstaande bezetting , ruwe data

Naief	gem	deviatie	sd	onder	boven
Naief					
verkorte resultaten					
servicelevel alg	0,871386443	0,005181438	0,018237	0,866205	0,876568
servicelevel Engels	0,875640413	0,005204607	0,018319	0,870436	0,880845
servicelevel Fins	0,445046743	0,010735978	0,037787	0,434311	0,455783
bezettingsgraad	84,27109791	0,201394616	0,708846	84,0697	84,47249
bezettingsgraad Engels	84,16354344	0,202207566	0,711709	83,96134	84,36575
bezettingsgraad Fins	85,59760305	0,21678103	0,763003	85,38082	85,81438
Naief Prio					
verkorte resultaten					
servicelevel alg	0,867454399	0,005426957	0,019101	0,862027	0,872881
servicelevel Engels	0,871356873	0,005434998	0,01913	0,865922	0,876792
servicelevel Fins	0,476674293	0,009834928	0,034516	0,466839	0,486509
bezettingsgraad	84,27109718	0,201362825	0,708736	84,06973	84,47246
bezettingsgraad Engels	84,18027224	0,201940207	0,710768	83,97833	84,38221
bezettingsgraad Fins	85,39127138	0,222058963	0,78158	85,16921	85,61333
Naief Prio Overflow					
verkorte resultaten					
servicelevel alg	0,870408837	0,005450952	0,019186	0,864958	0,87586
servicelevel Engels	0,871991156	0,005445322	0,019166	0,866546	0,877436
servicelevel Fins	0,712127233	0,010658131	0,036809	0,701669	0,722585
bezettingsgraad	84,2710984	0,201402576	0,708876	84,0697	84,4725
bezettingsgraad Engels	86,73115258	0,17276216	0,60807	86,55839	86,90391
bezettingsgraad Fins	53,93043013	0,636459857	2,240145	53,29397	54,56689
Agent reservering hard (1 reservering)					
verkorte resultaten					
servicelevel alg	0,832400785	0,006444763	0,022684	0,825956	0,838846
servicelevel Engels	0,831687001	0,006479749	0,022807	0,825207	0,838167
servicelevel Fins	0,90648584	0,006764475	0,023809	0,897884	0,911413
bezettingsgraad	84,27115722	0,201235182	0,708287	84,06992	84,47239
bezettingsgraad Engels	87,4866395	0,179708655	0,63252	87,30693	87,66635
bezettingsgraad Fins	44,6135424	0,577541427	1,962376	44,056	45,17108
Agent reservering zacht (1 reservering)					
verkorte resultaten					
servicelevel alg	0,824141518	0,006634847	0,023353	0,817507	0,830776
servicelevel Engels	0,822837925	0,006687003	0,023536	0,816151	0,832925
servicelevel Fins	0,955086534	0,004230562	0,01489	0,950856	0,959317
bezettingsgraad	84,27115616	0,201176643	0,70808	84,06998	84,47233
bezettingsgraad Engels	87,73550524	0,184288224	0,648638	87,55122	87,91979
bezettingsgraad Fins	41,54418415	0,486709544	1,713069	41,05747	42,03089
Rijlengte (rijlengte 3)					
verkorte resultaten					
servicelevel alg	0,841500017	0,005623366	0,019793	0,835927	0,847173
servicelevel Engels	0,841711015	0,005633214	0,019824	0,836079	0,847343
servicelevel Fins	0,825637085	0,00840782	0,029593	0,817229	0,834045
bezettingsgraad	84,27119728	0,201405058	0,708884	84,06979	84,4726
bezettingsgraad Engels	88,0319101	0,179311973	0,631124	87,8526	88,21122
bezettingsgraad Fins	37,8890725	0,629110025	2,214276	37,25996	38,51818
Wachttijd (22 seconden)					
verkorte resultaten					
servicelevel alg	0,839358918	0,006065822	0,02135	0,833293	0,845425
servicelevel Engels	0,839636823	0,006065211	0,021348	0,833572	0,845702
servicelevel Fins	0,811656452	0,010055865	0,035394	0,801601	0,821712
bezettingsgraad	84,24780216	0,228699692	0,804953	84,0191	84,4765
bezettingsgraad Engels	87,83473916	0,197320365	0,694508	87,63742	88,03206
bezettingsgraad Fins	40,00891249	0,753570806	2,65234	39,25534	40,76248
Agent reservering zacht (1) of wachtduur (21 seconden)					
verkorte resultaten					
servicelevel alg	0,85935851	0,005280114	0,018584	0,854078	0,864639
servicelevel Engels	0,859842452	0,005272356	0,018557	0,85457	0,865115
servicelevel Fins	0,810767656	0,009682939	0,034081	0,801085	0,820451
bezettingsgraad	84,22606023	0,213892176	0,752835	84,01217	84,43995
bezettingsgraad Engels	87,14190462	0,186180364	0,655298	86,95572	87,32808
bezettingsgraad Fins	48,26397949	0,663447711	2,335134	47,60053	48,92743
rijlengte (3) of wachtduur (22)					
verkorte resultaten					
servicelevel alg	0,852014207	0,005041245	0,017744	0,846973	0,857055
servicelevel Engels	0,852457851	0,005036885	0,017728	0,847421	0,857495
servicelevel Fins	0,807245401	0,009609805	0,033824	0,797636	0,816855
bezettingsgraad	84,22213728	0,216176161	0,760874	84,00596	84,43831
bezettingsgraad Engels	87,76213763	0,193194626	0,679986	87,56894	87,95333
bezettingsgraad Fins	40,56213298	0,633976899	2,211405	39,92816	41,19611

Agent_wachtduur							
Servicelevel	Algemeen	percentage wijziging	Engels	percentage wijziging	Fins	percentage wijziging	
500, 5	0,85935851	0	0,859842452	0	0,810767656	0	
500, 6	0,855931333	-0,398806436	0,856492543	-0,389595712	0,809511453	-0,154939892	
505, 5	0,839575358	-2,302083758	0,840050765	-2,301780625	0,791906161	-2,3263748	
505, 6	0,836167778	-2,69860967	0,836717258	-2,689468775	0,790510433	-2,498523857	
510, 5	0,818752603	-4,725141674	0,819185697	-4,728395871	0,77501788	-4,409373754	
510, 6	0,815354565	-5,12055733	0,815969685	-5,102419269	0,763315509	-5,852743017	
bezettingsgraad	Algemeen	percentage wijziging	Engels	percentage wijziging	Fins	percentage wijziging	
500, 5	84,22606023	0	87,14190462	0	48,26397949	0	
500, 6	84,39751723	0,203567629	87,20434442	0,071653015	49,77998185	3,141063739	
505, 5	85,11335481	1,053467976	85,11335481	-2,327869492	50,66210562	4,968769981	
505, 6	85,27121239	1,240889288	87,95237412	0,930057138	52,20355106	8,162550224	
510, 5	85,96364578	2,063002283	88,6284901	1,705936414	53,09723248	10,01420321	
510, 6	86,11787052	2,246110383	88,68138016	1,766630585	54,50125163	12,92324463	

rijlengte_wachtduur							
Servicelevel	Algemeen	percentage wijziging	Engels	percentage wijziging	Fins	percentage wijziging	
500, 5	0,852014207	0	0,852457851	0	0,807245401	0	
500, 6	0,848932075	-0,361746501	0,849505197	-0,346369444	0,801671651	-0,690465336	
505, 5	0,832803438	-2,254747424	0,83319722	-2,259423295	0,792973666	-1,767954867	
505, 6	0,828832628	-2,720797214	0,829296024	-2,717064149	0,790563641	-2,066504168	
510, 5	0,811117456	-4,800008053	0,811424533	-4,81353043	0,779989147	-3,37645209	
510, 6	0,807482725	-5,226612647	0,808001936	-5,215027959	0,763866887	-5,37364649	
bezettingsgraad	Algemeen	percentage wijziging	Engels	percentage wijziging	Fins	percentage wijziging	
500, 5	84,22213728	0	87,76213763	0	40,56213298	0	
500, 6	84,3933697	0,203310463	87,79163622	0,033611975	42,48141595	4,731711166	
505, 5	85,09386637	1,035035577	88,49157604	0,831153874	43,18878043	6,475614719	
505, 6	85,27644542	1,251818317	88,53578335	0,88152561	45,07794432	11,1330717	
510, 5	85,96951343	2,074723117	89,2163579	1,657001881	45,92509832	13,22160586	
510, 6	86,1299862	2,265258259	89,25655956	1,702809399	47,5689148	17,2741947	

Bibliografie

- O Garnett en A Mandelbaum, mei 2000. An Introduction to Skills-Based Routing and its Operational Complexities. docenthandleiding, <http://ie.technion.ac.il/~serveng/course2006spring/Lectues/SBR.pdf>.
- G Koole en J Talim, 2000. Exponential Approximation of Multi-Skill Call Centers Architecture. In *Proceedings of QNETs 2000*, p. 23/1–10.
- G.D. Ruxton, 2006. The unequal variance t test is an underused alternative to Students t test and the Mann-Whitney U test. *Behavioral Ecology*, 17-4 (2006), 688–690.
- H Thijms, 2002. *Operationele Analyse, een inleiding in modellen en methoden*. Epsilon Uitgaven, Utrecht.