



Technische Universiteit Delft
Faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica
Delft Institute of Applied Mathematics

**Vergelijking statische plaatsingsmodellen voor
ambulances**

**(Engelse titel: Comparison of static ambulance
location models)**

Verslag ten behoeve van het
Delft Institute of Applied Mathematics
als onderdeel ter verkrijging

van de graad van

**BACHELOR OF SCIENCE
in
TECHNISCHE WISKUNDE**

door

E.J. HARDERWIJK

**Delft, Nederland
juni 2014**



BSc verslag TECHNISCHE WISKUNDE

“Vergelijking statische plaatsingsmodellen voor ambulances”
(Engelse titel: “Comparison of static ambulance location models”)

E.J. HARDERWIJK

Technische Universiteit Delft

Begeleiders

Dr.ir. J.T. van Essen

P.L. van den Berg, MSc

Overige commissieleden

Prof. dr. ir. K.I. Aardal

Dr. ir. E.H. van der Meulen

Dr. ir. M.B. van Gijzen

Dr. ir. M. Keijzer

juni, 2014

Delft

ABSTRACT

Ambulanceplaatsingsmodellen hebben tot doel om ambulances op een efficiënte manier over een gebied te verdelen. In Nederland streeft men ernaar zoveel mogelijk oproepen binnen 15 minuten te dekken. Een oproeppunt wordt 'gedekt' door een ambulance als deze binnen 15 minuten na melding bij 112 ter plekke kan zijn. In dit onderzoek wordt de werking van een zestal statische ambulanceplaatsingsmodellen vergeleken. De belangrijkste modellen zijn MCLP, MEXCLP en ATTM3. De andere modellen (DSM, ATTM en MALP) zijn in bepaalde mate variaties op deze modellen. MCLP is een model dat vaak wordt gebruikt om standplaatsen te bepalen. Dit model maximaliseert de oproepen die door tenminste één ambulance gedekt worden. MEXCLP heeft ook tot doel de dekking door tenminste één ambulance te maximaliseren, maar houdt daarbij rekening met de kans dat een ambulance al kan zijn uitgerukt. ATTM3 is een model dat tijdens dit onderzoek is ontwikkeld. ATTM3 minimaliseert de gemiddelde aanrijtijd (de tijd die het kost om naar een oproeppunt te rijden) en houdt daarbij rekening met de beschikbaarheid van de drie dichtstbijzijnde ambulances. In het eerste deel van het onderzoek bepalen de modellen voor elke Nederlandse ambulanceregio zowel de standplaatsen als het aantal ambulances per standplaats. De vergelijking vindt vervolgens plaats aan de hand van elf verschillende criteria (zoals bijvoorbeeld door hoeveel ambulances een punt wordt gedekt, gemiddelde aanrijtijd en oplostijd). Het blijkt dat MEXCLP en ATTM3 het beste scoren op deze criteria. In het tweede deel van het onderzoek worden eerst de standplaatsen bepaald met MCLP. Vervolgens bepalen de andere vijf modellen hoe de ambulances over deze standplaatsen moeten worden verdeeld. Dit met het doel te onderzoeken hoe de doelfuncties en de elf criteria worden beïnvloed als alleen MCLP standplaatsen kunnen worden gebruikt. Het blijkt dat de doelfuncties en de kenmerkende criteria van de modellen ernstig verslechteren.

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	1
2	Beschrijving statische plaatsingsmodellen	3
2.1	Algemene beschrijving plaatsingsmodellen	3
2.2	Deterministische statische modellen	4
2.2.1	MCLP	4
2.2.2	DSM	5
2.2.3	ATTM	5
2.3	Probabilistische statische modellen	6
2.3.1	MEXCLP	6
2.3.2	MALP	7
2.3.3	ATTM3	8
3	Onderzoekskader	11
3.1	Ambulancezorg in Nederland	11
3.1.1	RAV's	11
3.1.2	15-minutennorm	11
3.1.3	A1-, A2- en B-inzetten	12
3.2	Data en keuze parameters	12
3.2.1	Standplaatsen, oproeppunten en aanrijtijden	13
3.2.2	Aanname, uitgifte en uitrukken: 3 minuten	13
3.2.3	Uitsluitend A1- en A2-ritten	13
3.2.4	Overige parameters	13
4	Vergelijking van modellen	17
4.1	Toetsingscriteria	17
4.2	Vergelijking van modellen onderling	20
4.2.1	Aanpassingen aan de modellen	20
4.2.2	Oplossingen	21

4.2.3	Oplossingen RAV 17	22
4.2.4	Analyse van de resultaten	26
4.2.5	Conclusies	29
4.3	Vergelijking van modellen met MCLP standplaatsen	31
4.3.1	Aanpassingen aan de modellen	32
4.3.2	Oplossingen met MCLP standplaatsen.	32
4.3.3	Oplossingen RAV 17 met MCLP standplaatsen	32
4.3.4	Analyse van de resultaten met MCLP standplaatsen	36
4.3.5	Conclusies MCLP standplaatsen	38
5	Conclusie, discussie en vervolgonderzoek	39
5.1	Conclusie	39
5.2	Discussie en vervolgonderzoek	40
	Bibliografie	41
A	Vergelijking modellen onderling: resultaten per RAV	43
B	Vergelijking MCLP standplaatsen: resultaten per RAV	51
C	Belangrijke notatie	59

1

INLEIDING

Al sinds de jaren '70 houden wiskundigen zich bezig met de vraag hoe ambulances op een zo efficiënt mogelijke manier geplaatst kunnen worden. Vaak streeft de ambulancezorg ernaar zoveel mogelijk oproepen binnen een gestelde tijdslimiet te bereiken. Een locatie is 'gedekt' als een ambulance binnen deze tijdslimiet bereikt kan worden. Al snel werd duidelijk dat met een goed plaatsingsmodel grote winst in dekking en aanrijtijden kan worden gerealiseerd. Met behulp van wiskunde kunnen in dit geval levens worden gered.

De eerste modellen waren vooral bedoeld om in de planningsfase te bepalen waar de ambulances het best gestationeerd kunnen worden. Deze modellen plaatsen maar één ambulance op een standplaats en houden geen rekening met het feit dat een ambulance al uitgerukt kan zijn op het moment dat een oproep binnenkomt. Het model MCLP ("Maximum Covering Location Problem") is daar een voorbeeld van. [5, p. 451-454] [7]

Latere modellen houden er op verschillende manieren rekening mee dat een ambulance niet beschikbaar kan zijn. Bijvoorbeeld door zoveel mogelijk potentiële oproeppunten door meerdere ambulances te dekken (zie [9], [10] en [13]). Andere modellen maken gebruik van de kans dat bijvoorbeeld één of meer van de dichtstbijzijnde ambulances niet aanwezig zijn (zie bijvoorbeeld [8] en [21]). Deze modellen bepalen niet alleen de standplaatsen van de ambulances, maar ook hoeveel ambulances er in het ideale geval op elk van deze standplaatsen moeten staan.

De hiervoor genoemde modelsoorten zijn nuttig voor langetermijnplanning. De meest recente modellen zijn dynamischer van aard en proberen door verplaatsingen gedurende de dag de dekking zo hoog mogelijk te houden (zie [1], [10], [17], [19] en [20]). Deze modellen bepalen bijvoorbeeld naar welke standplaats een ambulance moet terugkeren na een rit. Sommige modellen kunnen behulpzaam zijn bij de beslissing welke ambulance naar een ongeval wordt gestuurd (zie bijvoorbeeld [17]). Voor het behoud van een goede dekking kan het bijvoorbeeld verstandig zijn om een andere dan de meest dichtbijzijnde ambulance te sturen. Een dergelijke beslissing kan uiteraard alleen worden genomen als het voor de aard van het ongeval niet uitmaakt dat de ambulance enkele minuten later is.

Om na te gaan of een bepaalde verdeling van ambulances of verplaatsingsstrategie goed werkt, zijn er simulatiemodellen ontwikkeld (zie bijvoorbeeld [6], [12] en [22]). Deze modellen pogen voor een bepaalde regio zo realistisch mogelijk de binnenkomst van oproepen en de reacties van ambulances daarop na te bootsen. Zo kan bijvoorbeeld een inschatting worden gemaakt van het percentage van de oproepen dat tijdig bereikt wordt en de gemiddelde aanrijtijd. Op deze manier kunnen gefundeerde beslissingen worden genomen omtrent (ver)plaatsingsstrategieën.

In dit onderzoek worden zes modellen met elkaar vergeleken die in een planningsfase gebruikt kunnen worden, zodat een weloverwogen keuze kan worden gemaakt tussen deze modellen. Dit wordt gedaan door de modellen toe te passen op de 24 ambulanceregio's in Nederland. Hierbij bepalen de modellen zowel de

standplaatsen als het aantal ambulances per standplaats. Vervolgens wordt beschreven hoe de gevonden oplossingen scoren op elf verschillende criteria.

Op dezelfde manier zal worden onderzocht wat het effect is op de werking van de modellen als ze worden gedwongen gebruik te maken van vooraf door MCLP ¹ bepaalde standplaatsen. Dan kunnen de modellen dus alleen nog bepalen hoeveel ambulances op elk van deze standplaatsen worden neergezet. Het effect op de doelfuncties en de overige elf criteria zal worden geanalyseerd.

Dit verslag gaat allereerst kort in op de verschillende soorten ambulanceplaatsingsmodellen en geeft beschrijvingen van de te vergelijken modellen (hoofdstuk 2). Vervolgens wordt het onderzoekskader beschreven. Daarbij wordt ingegaan op de ambulancezorg in Nederland, de voor het onderzoek gebruikte data en de keuze voor parameters (hoofdstuk 3). Hoofdstuk 4 gaat in op de vergelijking van de modellen. Daarbij worden eerst de toetsingscriteria beschreven. Vervolgens wordt ingegaan op de uitvoering van beide vergelijkende onderzoeken en de analyse van de resultaten. Tot slot volgen de conclusie, discussie en suggesties voor vervolgonderzoek in hoofdstuk 5.

¹MCLP is één van de modellen die in praktijk vaak wordt gebruikt ter bepaling van standplaatsen.

2

BESCHRIJVING STATISCHE PLAATSINGSMODELLEN

Zoals aangegeven is er een lange geschiedenis van ambulanceplaatsingsmodellen. Deze plaatsingsmodellen kunnen ruwweg worden onderverdeeld in 4 categoriën. [6]

- **Deterministische statische modellen:**
Deterministische statische modellen zijn erop gericht tijdens de planningsfase een zo goed mogelijke verdeling van ambulances (en/of standplaatsen) te vinden.
- **Probabilistische statische modellen:**
Probabilistische statische modellen beogen net zoals deterministische statische modellen een statische verdeling te vinden tijdens de planningsfase. Daarbij houden ze rekening met de kans dat ambulances niet beschikbaar zijn.
- **Dynamische modellen:**
Dynamische modellen geven gedurende de dag inzicht in de mogelijkheden de dekking zo hoog mogelijk te houden door (een aantal) ambulances te verplaatsen.
- **Simulatiemodellen:**
Simulatiemodellen simuleren de dagelijkse gang van zaken, zodat verplaatsingsstrategieën getest kunnen worden.

Dit onderzoek richt zich op een zestal modellen die gebruikt kunnen worden tijdens de planningsfase. Deze modellen vallen in de categoriën deterministische statische modellen en probabilistische statische modellen. Voordat nader wordt ingegaan op deze zes modellen, zal eerst de basis van de modellen worden beschreven.

2.1. ALGEMENE BESCHRIJVING PLAATSINGSMODELLEN

Een plaatsingsmodel kan worden gezien als een graaf met twee soorten punten: $i \in V$ zijn de locaties van de potentiële noodoproepen en $j \in W$ de locaties van de potentiële standplaatsen. Van al deze punten is bekend hoe lang het duurt om van het ene punt naar het andere punt te komen. De tijd die het kost om van standplaats j naar oproeppunt i te komen is gegeven door t_{ji} . De aanrijtijd waarbinnen een ambulance ter plekke hoort te zijn, wordt r genoemd. Dus om elke standplaats j kan een gebied worden getekend met $t_{ji} \leq r$. Alle oproepen i die binnen dit gebied vallen worden gedekt als er een ambulance staat op standplaats j . [5, p.453-454]

In plaatsingsmodellen wordt meestal niet gekeken naar de tijdcirkels om de standplaatsen, maar naar de tijdcirkels om alle oproeppunten i . Er wordt gebruik gemaakt van de verzameling $W_i = \{j \in W | t_{ji} \leq r\}$ [5, p.453-454]. W_i is dus een verzameling potentiële standplaatsen waardoor een oproep i gedekt kan worden. Als op minstens één van deze standplaatsen een ambulance staat, is oproep i gedekt. In de modellen hierna wordt steeds de variabele x_j gebruikt om het aantal ambulances op standplaats j aan te duiden. De variabelen y_i dan wel y_{ik} worden gebruikt om aan te geven dat punt i door minstens één respectievelijk minstens k ambulances gedekt wordt.

In de zes statische modellen die hierna worden beschreven, is het aantal ambulances p steeds gegeven. De modellen bepalen vervolgens hoe deze ambulances geplaatst moeten worden.

Ook vereisen de modellen dat de gewichten d_i van de oproeppunten bekend zijn. Deze gewichten kunnen bijvoorbeeld worden gebaseerd op historische data (oproepgeschiedenis) of de populatiegrootte van punt i . De modellen gebruiken de gewogen oproeppunten, zodat punten waar naar verwachting meer oproepen vandaan zullen komen eerder gedekt worden.

2.2. DETERMINISTISCHE STATISCHE MODELLEN

Allereerst de drie deterministische statische modellen die in dit onderzoek vergeleken zullen worden. Deze modellen houden in beginsel geen rekening met de kans dat een ambulance al uitgerukt is.

De modellen worden in deze paragraaf in oorspronkelijke vorm besproken. Om een goede vergelijking te kunnen maken zijn de modellen voor dit onderzoek op een paar kleine punten aangepast. In de paragrafen 4.2.1 en 4.3.1 wordt hier nader op ingegaan.

2.2.1. MCLP

In 1974 hebben Church en Reville hun Maximal Covering Location Problem ("MCLP") gepubliceerd [7]. Dit model maximaliseert de gewogen oproeppunten die door minstens één ambulance worden gedekt.

MCLP geeft als output of er een ambulance op punt j staat: in dat geval geldt $x_j = 1$. Er kan maximaal één ambulance op een standplaats staan. Daarnaast geldt $y_i = 1$ als oproep i bereikt kan worden binnen de vereiste tijd r .

Maximaliseer:	$\sum_{i \in V} d_i y_i$		Maximaliseer de oproepen die door minstens één ambulance gedekt worden.
Onder de voorwaarden:	$\sum_{j \in W_i} x_j \geq y_i$	$\forall i \in V$	$y_i = 1$ geldt alleen als oproeppunt i bereikt kan worden binnen r . Dit is het geval als op een standplaats $j \in W_i$ een ambulance is geplaatst.
	$\sum_{j \in W} x_j = p$		Alle p beschikbare ambulances worden gebruikt.
	$x_j \in \{0, 1\}$	$\forall j \in W$	
	$y_i \in \{0, 1\}$	$\forall i \in V$	

MCLP kan nuttig zijn om optimale locaties voor standplaatsen te bepalen. Bovendien kan door het model voor verschillende waarden van p uit te voeren worden bepaald welk aantal standplaatsen nodig is om een bepaalde dekking te realiseren. Het model houdt echter geen rekening met het feit dat een ambulance mogelijk niet beschikbaar is [5, p.454]. Daardoor ontstaat er een gat in de dekking zodra een ambulance is uitgerukt.

2.2.2. DSM

Double Standard Model ("DSM") is een deterministisch statisch model van Gendreau, Laporte en Semet (1997) [10]. Het model zorgt ervoor dat de kans dat een ambulance niet beschikbaar is zoveel mogelijk wordt afgedekt door de oproeppunten door (meer dan) twee ambulances te dekken. DSM kent twee tijdstralen: een tijdstraal r_1 (die kan worden gezien als de r in de algemene beschrijving van de plaatsingsmodellen) en een grotere tijdstraal r_2 .

Het idee achter DSM is als volgt:

- Er zijn twee standaarden:
 1. Een bepaald percentage α van de oproepen moet binnen r_1 gedekt zijn.
 2. Alle oproepen moeten binnen r_2 gedekt zijn.
- Maximaliseer vervolgens het aantal oproeppunten dat twee keer gedekt wordt binnen r_1 .

In tegenstelling tot MCLP kunnen er meerdere ambulances op één punt staan. Aan het aantal ambulances per standplaats kan een limiet (p_j) gegeven worden. Het model gebruikt twee verzamelingen potentiële standplaatsen: W_{i1} is de verzameling standplaatsen waardoor oproep i gedekt kan worden binnen r_1 en W_{i2} is de verzameling standplaatsen waardoor oproep i gedekt kan worden binnen r_2 .

Maximaliseer:	$\sum_{i \in V} d_i y_{i2}$		Maximaliseer de oproepen die door minstens twee ambulances gedekt worden binnen r_1 .
Onder de voorwaarden:	$\sum_{j \in W_{i2}} x_j \geq 1$	$\forall i \in V$	Alle oproeppunten moeten binnen r_2 bereikt worden.
	$\sum_{i \in V} d_i y_{i1} \geq \alpha \sum_{i \in V} d_i$		α van de oproepen moet binnen r_1 bereikt worden.
	$y_{i2} \leq y_{i1}$	$\forall i \in V$	Als i twee keer is gedekt, is i ook één keer gedekt.
	$\sum_{j \in W_{i1}} x_j \geq y_{i1} + y_{i2}$	$\forall i \in V$	$y_{i1} = 1$ als er 1 één of meer ambulances binnen W_i staan. $y_{i2} = 1$ geldt alleen als er twee of meer ambulances binnen W_i staan.
	$\sum_{j \in W} x_j = p$		Alle p beschikbare ambulances worden gebruikt.
	$x_j \leq p_j$	$\forall j \in W$	Er staan maximaal p_j ambulances op punt j .
	$x_j \in \mathbb{N}$	$\forall j \in W$	Er kunnen meerdere ambulances op punt j staan.
	$y_{i1} \in \{0, 1\}$	$\forall i \in V$	
$y_{i2} \in \{0, 1\}$	$\forall i \in V$		

2.2.3. ATTM

Average Traveltime Model ("ATTM") is een model dat tijdens dit bachelorproject is ontwikkeld. ATTM minimaliseert de gemiddelde aanrijtijden. Om precies te zijn minimaliseert het model de aanrijtijden van de dichtstbijzijnde ambulances naar de oproeppunten.

Het model introduceert een nieuwe variabele f_{ji} , welke één is als de ambulance op standplaats j de kortste aanrijtijd, t_{ji} , naar i heeft van alle geplaatste ambulances.

Minimaliseer:	$\sum_{j \in W} \sum_{i \in V} d_i t_{ji} f_{ji}$		Minimaliseer de gewogen som van de kortste aanrijtijden naar elk oproep-punt.
Onder de voorwaarden:	$\sum_{j \in W} f_{ji} = 1$	$\forall i \in V$	Voor elke oproep moet precies één rij-tijd worden meegenomen.
	$x_j \geq f_{ji}$	$\forall j \in W,$ $\forall i \in V$	f_{ji} mag alleen 1 zijn als er een ambulance op j staat. Dus dan alleen wordt t_{ji} meegenomen als mogelijke kortste aanrijtijd tot punt i . Vanwege de minimalisatie in de doelfunctie zullen de f_{ji} 's alleen waarde 1 krijgen als dit nodig is.
	$\sum_{j \in W} x_j \leq p$		Niet meer dan de p beschikbare ambulances worden gebruikt.
	$x_j \in \{0, 1\}$	$\forall j \in W$	
	$f_{ji} \in \{0, 1\}$	$\forall j \in W,$ $\forall i \in V$	

Het model zal uit zichzelf niet meerdere ambulances op één standplaats neerzetten, omdat daardoor de kortste aanrijtijden niet verbeterd kunnen worden. Vandaar $x_j \in \{0, 1\}$. Net zoals MCLP houdt ATTM geen rekening met het feit dat een ambulance mogelijk niet beschikbaar is.

2.3. PROBABILISTISCHE STATISCHE MODELLEN

Hierna worden de drie probabilistische modellen beschreven. Deze modellen houden expliciet rekening met de kans dat een ambulance al is uitgerukt.

Ook deze modellen worden hieronder in oorspronkelijke vorm besproken. De paragrafen 4.2.1 en 4.3.1 zullen ingaan op de aanpassingen die ten behoeve van het onderzoek zijn gemaakt.

2.3.1. MEXCLP

Maximum Expected Covering Location Problem ("MEXCLP") is een model uit 1983 van Daskin [8]. In dit model wordt de kans q meegenomen dat een ambulance niet beschikbaar is. Het model maximaliseert de totale gewogen dekking van de oproeppunten, waarbij rekening wordt gehouden met de kans dat een ambulance van standplaats j oproep i op zich neemt binnen straal r .

Deze kans q wordt ook wel de "busy fraction" genoemd. De busy fraction kan worden bepaald door de totale tijdsduur van alle ambulanceritten te delen door de totale tijd dat ambulances beschikbaar zijn. In het model wordt ervan uitgegaan dat q voor alle ambulances gelijk is. Er volgt dat als oproep i in de beginsituatie door k ambulances gedekt is, de verwachte dekking gelijk is aan: $E_k = d_i(1 - q^k)$ (want q^k is de kans dat geen van de k ambulances beschikbaar is, en $(1 - q^k)$ de kans dat er wél een ambulance beschikbaar is). Het aandeel van de k -de ambulance hierin is dan gelijk aan:

$$E_k - E_{k-1} = d_i(1 - q^k) - d_i(1 - q^{k-1}) = d_i(q^{k-1} - q^k) = d_i(1 - q)q^{k-1}$$

[5, p.456].

Maximaliseer:	$\sum_{i \in V} \sum_{k=1}^p d_i (1-q) q^{k-1} y_{ik}$		Maximaliseer de verwachte dekking van de oproepen. Voor ieder oproep-punt i worden alle ambulances die mogelijk meewerken aan de dekking (dus waarvoor $y_{ik} = 1$) meegewogen met de kans dat zij oproep i op zich nemen.
Onder de voorwaarden:	$\sum_{j \in W_i} x_j \geq \sum_{k=1}^p y_{ik} \quad \forall i \in V$		Hier worden de waarden van y_{ik} bepaald: $y_{ik} = 1$ als i door k ambulances bereikt kan worden binnen r_1 . De doelfunctie is concaaf in k . Dus als $y_{i,k+1} = 1$, dan geldt ook $y_{ik} = 1$.
	$\sum_{j \in W} x_j \leq p$		Niet meer dan de p beschikbare ambulances worden gebruikt. Vanwege de maximalisatie in de doelfunctie, zal hier gelijkheid gelden.
	$x_j \in \mathbb{N} \quad \forall j \in W$		Er kunnen meerdere ambulances op punt j staan.
	$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in V, k = 1, \dots, p$		

In dit model kunnen meerdere ambulances op één punt worden neergezet.

2.3.2. MALP

Een ander model waarin rekening wordt gehouden met de busy fraction is Maximum Availability Location Problem ("MALP"), een model van Revelle en Hogan (1989) [21]. Bij dit model wordt eerst met behulp van de busy fraction q het minimum aantal ambulances b bepaald waarmee elk potentieel oproeppunt i in de beginsituatie gedekt zou moeten zijn om met waarschijnlijkheid α beschikbaar te zijn als er daadwerkelijk een oproep plaatsvindt. Vervolgens wordt de gewogen som van de oproepen die door minstens b ambulances gedekt worden gemaximaliseerd.

Maximaliseer:	$\sum_{i \in V} d_i y_{ib}$		Maximaliseer de oproepen die door minstens b ambulances gedekt worden.
Onder de voorwaarden:	$\sum_{k=1}^b y_{ik} \leq \sum_{j \in W_i} x_j \quad \forall i \in V$		Hier worden de waarden van y_{ik} bepaald: $y_{ik} = 1$ als i door k ambulances bereikt kunnen worden binnen r_1 .
	$y_{ik} \leq y_{i,k-1} \quad \forall i \in V$		Als i $k+1$ keer is gedekt, is i ook k keer gedekt.
	$\sum_{j \in W} x_j = p$	$k = 2, \dots, b$	Alle p beschikbare ambulances worden gebruikt.
	$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in W$		Er kan maar één ambulance op punt j staan.
	$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in V$		

De waarde van b kan worden bepaald door $\lceil \frac{\log(1-\alpha)}{\log q} \rceil$ [5, p.457]. De afleiding van deze formule gaat als volgt:

Het minimum aantal ambulances om oproep punt i te dekken met zekerheid α , moet voldoen aan de volgende voorwaarde:

$$1 - q^{\sum_{j \in W_i} x_j} \geq \alpha$$

Oftewel: $1 - \alpha \geq q^{\sum_{j \in W_i} x_j}$. Na het achtereenvolgens nemen van log en delen door $\log q$ aan beide kanten van de vergelijking volgt $\frac{\log(1-\alpha)}{\log q} \leq \sum_{j \in W_i} x_j$.¹ Dus punt i moet door minstens $b = \lceil \frac{\log(1-\alpha)}{\log q} \rceil$ ambulances worden gedekt.

2.3.3. ATTM3

Average Traveltime Model 3 ("ATTM3") is net zoals ATTM tijdens dit bachelorproject ontwikkeld. Dit model minimaliseert de gemiddelde aanrijtijd, rekening houdend met de beschikbaarheid van de eerste drie ambulances. De kans dat ambulance j oproep i op zich neemt, wordt net zoals bij MEXCLP bepaald aan de hand van de busy fraction. In dit model worden alleen de drie meest dichtbijzijnde ambulances meegenomen. Daar is voor gekozen omdat het in de te onderzoeken regio's waarschijnlijk is dat één van deze drie ambulances de oproep oppikt.² Het model kan echter eenvoudig worden aangepast op een ander aantal ambulances.

Voor dit model wordt een drietal nieuwe variabelen ingevoerd: f_{ji1} , f_{ji2} en f_{ji3} . Er geldt $f_{ji1} = 1$ als de ambulance op standplaats j de kortste aanrijtijd t_{ji} heeft naar i van alle geplaatste ambulances. Zo geldt verder $f_{ji2} = 1$ als de ambulance op standplaats j de één na kortste aanrijtijd heeft naar i , en $f_{ji3} = 1$ als deze de derde kortste aanrijtijd heeft. Er kunnen meerdere ambulances per standplaats worden geplaatst.

Minimaliseer:	$\sum_{j \in W} \sum_{i \in V} d_i t_{ji} [(1-q)f_{ji1} + (1-q)qf_{ji2} + q^2 f_{ji3}]$	Minimaliseer de gewogen som van de 3 kortste aanrijtijden naar elk oproep punt. De kortste twee aanrijtijden worden meegewogen met de kans dat de betreffende ambulances gezien de busy fraction de oproep op zich nemen (vergelijkbaar met de doelfunctie van MEXCLP). De derde ambulance wordt met de restkans meegewogen.
Onder de voorwaarden:	$\sum_{j \in W} f_{jik} = 1$	$\forall i \in V,$ $k \in \{1, 2, 3\}$
	$x_j \geq \sum_{k=1}^3 f_{jik}$	$\forall j \in W,$ $\forall i \in V$
	$\sum_{j \in W} x_j \leq p$	Voor elke oproep moeten precies 3 verschillende rijtijden worden meegenomen. f_{jik} mag alleen 1 zijn als er een ambulance op j staat, die niet al door een andere f_{jik} wordt gebruikt. Vanwege de minimalisatie in de doelfunctie zal f_{jik} alleen waarde 1 krijgen als dit nodig is. Niet meer dan de p beschikbare ambulances worden gebruikt.
	$x_j \in \mathbb{N}$	$\forall j \in W$
	$f_{jik} \in \{0, 1\}$	$\forall j \in W,$ $\forall i \in V,$ $k \in \{1, 2, 3\}$

¹Het teken slaat om, omdat $\log q \leq 0$ ($q \in \{0, 1\}$).

²De waarde van b is over het algemeen twee of drie, met enkele uitschieters naar $b = 4$.

Zoals hierboven aangegeven, gebruikt de doelfunctie van ATTM3 voor de eerste twee ambulances een met MEXCLP vergelijkbare weging. Ze worden meegewogen met de kans dat ze gezien de beschikbaarheid een oproep op zich nemen. Voor de dichtstbijzijnde ambulance is deze kans $(1 - q)$. De kans dat de tweede ambulance de oproep oppikt is gelijk aan $(1 - q)q$. De derde ambulance heeft restkans q^2 , zodat het totaal tot 1 sommeert. Immers:

$$1 - (1 - q) - q(1 - q) = q - q + q^2 = q^2$$

3

ONDERZOEKSKADER

3.1. AMBULANCEZORG IN NEDERLAND

In deze paragraaf zal worden beschreven hoe de ambulancezorg in Nederland is onderverdeeld, wat de 15-minutennorm inhoudt en welke soorten ambulancevervoer Nederland kent.

3.1.1. RAV's

In Nederland zijn er 24 Regionale Ambulancevoorzieningen ("RAV's"), die ieder de verantwoordelijkheid dragen voor de ambulancezorg in een bepaalde regio. In figuur 3.1 is een kaart en tabel met de verdeling van de RAV's te zien. RAV 11 en 13 zijn samengevoegd, zodat het totaal uitkomt op 24.

3.1.2. 15-MINUTENNORM

In de Kwaliteitswet zorginstellingen is vastgelegd ¹ dat instellingen 'verantwoorde zorg' moeten bieden. Zorginstellingen moeten hier zelf inhoud aan geven. De ambulancesector heeft de wijze waarop verantwoorde ambulancezorg wordt geboden vastgelegd in de Nota Verantwoorde Ambulancezorg [3]. De eerste pijler voor verantwoorde ambulancezorg is 'beschikbaarheid en bereikbaarheid' [3, p. 18]. De ambulancesector streeft ernaar in geval van spoedeisende medische hulp de patiënt zo spoedig mogelijk te bereiken. In praktijk probeert men de '15-minutennorm' te hanteren. Dat wil zeggen dat de ambulancezorg ernaar streeft om onder normale omstandigheden in geval van een spoedeisende situatie binnen vijftien minuten na het begin van de melding op de meldkamer bij de patiënt aanwezig te zijn.

Deze 15-minutennorm kent geen wetenschappelijke basis, maar is vooral een rekenkundige norm die wordt gehanteerd bij het plaatsen van de ambulances [2, p. 37]. De wijze waarop de 15-minutennorm door Ambulancezorg Nederland wordt nagestreefd is terug te vinden in de referentiekaders. De referentiekaders geven daarmee praktische invulling aan de term beschikbaarheid en bereikbaarheid [15] [16].

De 15-minutennorm ziet op de totale responstijd: de ambulance moet binnen 15 minuten na melding via 112 ter plekke zijn.

De responstijd bestaat uit: [2, p.37-38]

1. **aanname en uitgifte:** tijd van de aanname van de telefonische melding tot alarmering van een ambulance-eenheid;

¹Kwaliteitswet zorginstellingen artikel 2 lid 1



Figuur 3.1: Indeling RAV's [4]

2. **uitruktijd:** tijd tussen de alarmering en het vertrek van de ambulance-eenheid;
3. **aanrijtijd:** rijtijd van de ambulance van standplaats tot bestemming.

In 2012 was de gemiddelde tijd voor aanname en uitgifte 1:58 minuten en de gemiddelde uitruktijd 1:01 minuten [2, p. 41]. Dus ervan uitgaande dat de tijd van aanname, uitgifte en uitrukken gemiddeld 3 minuten is, moet de aanrijtijd 12 minuten zijn om binnen een responstijd van 15 minuten te blijven. In het Referentiekader 2013 [16] rekt Ambulancezorg Nederland met deze aanname van 3 minuten: hierin worden de ambulances zo geplaatst dat ze in 97% van de gevallen een aanrijtijd van ten hoogste 12 minuten hebben.

3.1.3. A1-, A2- EN B-INZETTEN

Een inzet met A1-urgentie is een spoedeisende rit. Deze urgentie wordt gegeven als er sprake is van een acute bedreiging van de vitale functies van de patiënt (of als dit niet op voorhand kan worden uitgesloten). In geval van een A1-inzet maakt de ambulance altijd gebruik van zwaailichten en sirene. [2, p. 39]

Een inzet met A2-urgentie is een (spoedeisende) rit waarbij geen sprake is van direct levensgevaar voor de patiënt. Ook hier streeft men ernaar de ambulance zo spoedig mogelijk aanwezig te laten zijn. Indien wenselijk wordt gebruik gemaakt van zwaailichten en sirene. [2, p. 54]

Een B-inzet is planbaar vervoer van patiënten naar of tussen ziekenhuizen voor opname, onderzoek of behandeling, vervoer van patiënten die na ontslag uit het ziekenhuis naar huis gebracht worden of vervoer van patiënten en bewoners van en naar verzorgings-, verpleeg- en revalidatiecentra. Deze ritten worden ingepland en maken geen gebruik van zwaailichten of sirene. [2, p. 69]

3.2. DATA EN KEUZE PARAMETERS

Hieronder zal worden besproken welke data voor dit onderzoek zijn gebruikt en hoe de parameters zijn gekozen.

3.2.1. STANDPLAATSEN, OPROEPPUNTEN EN AANRIJTIJDEN

In dit onderzoek zullen de verschillende modellen worden toegepast op de 24 RAV's. Daarbij is de volgende data beschikbaar: de populatie per Nederlandse 4-cijfer postcode en de aanrijtijden tussen alle 4-cijferpostcodes.²

Om de graaf van een bepaalde RAV te maken zijn zowel de verzameling potentiële standplaatsen W , als de verzameling potentiële oproepen V gelijk genomen aan alle 4-cijferpostcodes in de betreffende RAV. De t_{ji} is gelijk aan de aanrijtijd van standplaats j naar oproeppunt i . De gewichten d_i van de oproeppunten zijn in dit onderzoek gelijk aan de populatie van oproeppunt i .

3.2.2. AANNAME, UITGIFTE EN UITRUKKEN: 3 MINUTEN

Net zoals Ambulancezorg Nederland in het Referentiekader 2013 [16] gaat dit onderzoek ervan uit dat de tijd van aanname, uitgifte en uitrusten gemiddeld 3 minuten van de responstijd in beslag neemt. Dus om bijvoorbeeld binnen een responstijd van 15 minuten te blijven moet de aanrijtijd 12 minuten zijn.

3.2.3. UITSLUITEND A1- EN A2-RITTEN

Bij het testen van de modellen zijn de ambulances beperkt tot de ambulances voor A1- en A2-ritten. B-vervoer wordt buiten beschouwing gelaten, omdat:

1. B-vervoer planbaar is, waardoor van tevoren over de exacte locaties van de in te zetten ambulances kan worden nagedacht;
2. B-vervoer vaak plaatsvindt in speciaal daarvoor uitgeruste ambulances, die zelden worden opgeroepen voor A1- of A2-ritten.

3.2.4. OVERIGE PARAMETERS

AANTAL AMBULANCES p

Dit onderzoek streeft ernaar de testsituatie zoveel mogelijk te laten lijken op de huidige situatie in Nederland. Om dit te bereiken is het aantal ambulances p gebaseerd op het gemiddelde aantal ambulances dat gedurende een werkdag wordt ingezet voor A1- en A2-ritten in een bepaalde RAV.³ De gebruikte waarden voor p zijn terug te vinden in tabel 3.2.

Omdat het vanwege de kosten niet realistisch is voor iedere ambulance een standplaats te openen, is het maximale aantal standplaatsen per RAV beperkt tot het huidige aantal standplaatsen.⁴ Het maximale aantal standplaatsen (s_{\max}) is oorspronkelijk geen parameter van de modellen, maar zal worden toegevoegd middels een aantal aanvullende voorwaarden.⁵ De gebruikte waarden voor s_{\max} zijn terug te vinden in tabel 3.2.

KEUZE α

Bij DSM en bij MALP representeert α het percentage van de gevallen dat dient te voldoen aan de 15-minutennorm. Voor dit onderzoek zal uit worden gegaan van $\alpha = 0,95$. Tot 2008 was het in Nederland de norm dat in elke RAV een dekkingspercentage van 95% moest gelden. Dit dekkingspercentage is inmiddels verhoogd tot 97% (onder andere in het Referentiekader 2013 [16]). Er is voor gekozen 95% aan te houden, omdat dit een redelijke norm lijkt en dit percentage aan DSM meer vrijheid geeft om haar doelfunctie te maximaliseren.

²Verkregen van het RIVM en CWI.

³Deze gemiddelde aantallen zijn berekend met behulp van een overzicht verkregen van RIVM uit 2008 met totale ambulance-inzet en inzet voor B-vervoer per RAV.

⁴De huidige aantallen standplaatsen (2014) zijn verkregen via RIVM.

⁵Zie hierover paragraaf 4.2.1.

BEREKENING BUSY FRACTION q

De voor MEXCLP, MALP en ATTM3 benodigde busy fraction q is per RAV als volgt berekend. Eerst wordt de totale tijd berekend dat ambulances in de betreffende RAV dagelijks uitgerukt zijn:

totaal bezet = (aantal A1-ritten per jaar x gemiddelde uitruktijd per A1-rit)/365+ (aantal A2-ritten per jaar x gemiddelde uitruktijd per A2-rit)/365

Hierbij zijn de aantallen A1-ritten en A2-ritten afkomstig uit Ambulances in-zicht 2012 [2, p. 25]. Voor de A1-ritten wordt uitgegaan van de door Zuidhof berekende gemiddelde uitruktijd van 42,9 minuten. Voor de A2-ritten komt dit neer op 50,1 minuten [23]. 'totaal bezet' is dus de totale tijd (in minuten) die de ambulances kwijt zijn aan A1- en A2-ritten per dag.

Vervolgens wordt de totale tijd berekend dat ambulances beschikbaar zijn (inclusief eventuele uitruktijden):

$$\text{totaal beschikbaar} = p_1 \cdot 8 \cdot 60 + p_2 \cdot 8 \cdot 60 + p_3 \cdot 8 \cdot 60$$

Hierbij is p_1 het aantal A1- en A2-ambulances op werkdagen tussen 0:00 en 8:00 uur, p_2 het aantal A1- en A2-ambulances tussen 8:00 uur en 16:00 uur en p_3 het aantal A1- en A2-ambulances tussen 16:00 en 24:00 uur. ⁶ De aantallen ambulances p_1 , p_2 , p_3 zijn achtereenvolgens vermenigvuldigd met 8 uur en 60 minuten, zodat de totale tijd in minuten wordt berekend dat ambulances beschikbaar zijn.

q kan nu worden bepaald met de volgende berekening:

$$q = \frac{\text{totaal bezet}}{\text{totaal beschikbaar}}$$

In tabel 3.1 is voor elke RAV de busy fraction berekend.

Tabel 3.1: Berekening busy fraction

RAV nr	RAV naam	A1-ritten	A2-ritten	totaal bezet	p1	p2	p3	totaal beschikbaar	busy fraction
1	Groningen	20181	10574	3823	15	13	17	21600	0,177
2	Friesland	16095	13247	3710	26	25	27	37440	0,099
3	Drenthe	9787	15354	3258	13	12	14	18720	0,174
4	IJsselland	12353	9426	2746	12	11	13	17280	0,159
5	Twente	10943	13667	3162	11	9	13	15840	0,200
6	Noordoost Gelderland	18410	13995	4085	12	15	14	19680	0,208
7	Gelderland Midden	15736	9833	3199	8	8	9	12000	0,267
8	Gelderland Zuid	14191	8960	2898	10	9	11	14400	0,201
9	Utrecht	29745	22375	6567	14	15	17	22080	0,297
10	Noord-Holland Noord	21731	7586	3595	11	11	12	16320	0,220
11	Amsterdam/Waterland	59397	12575	8707	13	18	17	23040	0,378
12	Kennemerland	21836	6016	3392	7	8	8	11040	0,307
14	Gooi- en Vechtstreek	8036	2148	1239	3	4	4	5280	0,235
15	Haaglanden	39283	14462	6602	9	14	12	16800	0,393
16	Hollands Midden	25540	9353	4286	9	10	11	14400	0,298
17	Rotterdam-Rijnmond	44162	20013	7938	10	14	13	17760	0,447
18	Zuid-Holland Zuid	13819	7186	2611	7	9	9	12000	0,218
19	Zeeland	12040	6749	2341	18	18	19	26400	0,089
20	Midden West Brabant	28578	20157	6126	15	15	18	23040	0,266
21	Brabant Noord	15723	11784	3465	9	9	10	13440	0,258
22	Zuidoost Brabant	19105	11090	3768	9	9	10	13440	0,280
23	Limburg Noord	14063	10384	3078	9	11	10	14400	0,214
24	Zuid Limburg	17714	11048	3598	6	8	7	10080	0,357
25	Flevoland	12367	5710	2237	7	8	8	11040	0,203

⁶Deze aantallen zijn afgeleid uit een overzicht verkregen van RIVM uit 2008 met totale ambulance-inzet en inzet voor B-vervoer per RAV.

BEREKENING b

Nu α en q gekozen zijn, kan b (benodigd voor MALP) berekend worden met $b = \lceil \frac{\log(1-\alpha)}{\log q} \rceil$. De gebruikte waarden voor b zijn terug te vinden in tabel 3.2.

KEUZE r , r_1

In verband met de 15-minutennorm wordt r zo gekozen dat een oproeppunt gedekt is als de responstijd maximaal 15 minuten is. Omdat wordt uitgegaan van een aanneme, uitgifte en uitruktijd van 3 minuten, moet er gelden $r = 12$. In het model DSM geldt $r_1 = 12$, zodat de eis gesteld wordt dat 95% (vanwege α) van de oproepen binnen 15 minuten bereikt moet kunnen worden, en het aantal oproepen dat 2 keer binnen 15 minuten gedekt is gemaximaliseerd wordt.

KEUZE r_2 DSM

De tweede straal van DSM is in dit onderzoek gelijk aan $r_2 = 17$. Dit komt overeen met een responstijd van 20 minuten. Het lijkt redelijk te eisen dat een oproep sowieso binnen 20 minuten bereikt wordt.

OVERZICHT PARAMETERS PER RAV

Tabel 3.2 geeft een overzicht van de parameters p , s_{\max} (het maximale aantal standplaatsen), q , en b .

Tabel 3.2: Parameters per RAV

RAV nr	RAV naam	p	s_{\max}	q	b
1	Groningen	15	13	0,177	2
2	Friesland	26	19	0,099	2
3	Drenthe	13	13	0,174	2
4	IJsselland	12	10	0,159	2
5	Twente	11	9	0,200	2
6	Noordoost Gelderland	14	13	0,208	2
7	Gelderland Midden	8	7	0,267	3
8	Gelderland Zuid	10	11	0,201	2
9	Utrecht	15	11	0,297	3
10	Noord-Holland Noord	11	9	0,220	2
11	Amsterdam/Waterland	16	9	0,378	4
12	Kennemerland	8	7	0,307	3
14	Gooi- en Vechtstreek	4	3	0,235	3
15	Haaglanden	12	8	0,393	4
16	Hollands Midden	10	10	0,298	3
17	Rotterdam-Rijnmond	12	10	0,447	4
18	Zuid-Holland Zuid	8	6	0,218	2
19	Zeeland	18	11	0,089	2
20	Midden West Brabant	16	13	0,266	3
21	Brabant Noord	9	7	0,258	3
22	Zuidoost Brabant	9	7	0,280	3
23	Limburg Noord	10	7	0,214	2
24	Zuid Limburg	7	4	0,357	3
25	Flevoland	8	6	0,203	2

4

VERGELIJKING VAN MODELLEN

In dit hoofdstuk zal een vergelijking worden gemaakt van de werking van de modellen DSM, MEXCLP, MALP, ATTM, ATTM3 en MCLP aan de hand van elf criteria. Het onderzoek is tweeledig:

1) Vergelijking van modellen onderling

Allereerst zal de werking van deze zes verschillende modellen met elkaar vergeleken worden door de modellen een optimale oplossing te laten zoeken voor iedere RAV, waarbij de modellen zowel de locatie van de standplaatsen als het aantal ambulances per standplaats bepalen. Vervolgens zal worden geanalyseerd hoe goed de gevonden oplossingen scoren op de elf criteria.

2) Vergelijking van modellen met MCLP standplaatsen

Ten tweede zal worden onderzocht hoe de werking van de modellen wordt beïnvloed als de modellen worden gedwongen standplaatsen te gebruiken die eerder al met behulp van MCLP zijn bepaald. Hierbij worden eerst de standplaatsen voor elke RAV met behulp van MCLP bepaald, om vervolgens gegeven deze standplaatsen DSM, MEXCLP, MALP, ATTM en ATTM3 een optimale oplossing te laten bepalen. Aan de hand van de doelfuncties en de elf criteria zal worden geanalyseerd hoe de werking van de modellen door de MCLP standplaatsen wordt beïnvloed.

Het tweede deel van het onderzoek is met name interessant omdat beslissingen omtrent de plaatsing van de ambulances in Nederland vaak op deze manier worden genomen: eerst worden de standplaatsen gekozen met behulp van MCLP om vervolgens met andere modellen te bepalen hoeveel ambulances waar moeten worden neergezet.

4.1. TOETSINGSCRITERIA

Om de verschillende plaatsingsmodellen te vergelijken, zal worden getest hoe goed deze scoren op elf criteria/eigenschappen. Deze criteria zijn onder andere gebaseerd op de doelfuncties van de verschillende modellen.

Criteria:

1. Percentage potentiële oproepen binnen 15 minuten gedekt (hierna ook wel: "**1x gedekt**")
2. Percentage potentiële oproepen door minimaal twee ambulances binnen 15 minuten gedekt (hierna ook wel: "**2x gedekt**")
3. Percentage potentiële oproepen door minimaal drie ambulances binnen 15 minuten gedekt (hierna ook wel: "**3x gedekt**")

4. Percentage potentiële oproepen binnen 8 minuten gedekt (hierna ook wel: "**binnen 8 min**")
5. Percentage potentiële oproepen binnen 20 minuten gedekt (hierna ook wel: "**binnen 20 min**")
6. Betrouwbaarheid dat er een ambulance binnen 15 minuten beschikbaar is (hierna ook wel: "**betrouwbaarheid**")
7. Maximale aanrijtijd (hierna ook wel: "**max. aanrijtijd**")
8. Gemiddelde aanrijtijd (hierna ook wel: "**gem. aanrijtijd**")
9. Tijd waarbinnen minstens 95% van de oproeppunten bereikt kan worden (hierna ook wel: "**95% binnen .. min**")
10. Gemiddelde aanrijtijd, rekening houdend met de beschikbaarheid van de drie meest dichtbijzijnde ambulances (hierna ook wel: "**ATTM3 doelfunctie**")
11. Oplostijd

CRITERIA (1), (2), (3)

Merk op dat criterium (1) gelijk is aan de (procentuele) doelfunctie van MCLP, want r is zo gekozen dat een punt gedekt is als het binnen 15 minuten bereikt kan worden ($r = 12$). Criterium (2) komt overeen met de (procentuele) doelfunctie van DSM en als $b = 2$ ook met de doelfunctie van MALP. DSM scoort overigens niet altijd het beste op haar eigen doelfunctie, omdat zij aan de voorwaarden moet voldoen dat 95% van de oproepen binnen 15 minuten gedekt wordt en 100% binnen 20 minuten. Als $b = 3$, is de (procentuele) doelfunctie van MALP gelijk aan criterium (3).

De eerste 3 criteria kunnen met de volgende functies berekend worden:

$$\text{criterium (1)} = \frac{\sum_{i \in V} d_i y_{i1}}{\sum_{i \in V} d_i} \times 100\%, \quad \text{criterium (2)} = \frac{\sum_{i \in V} d_i y_{i2}}{\sum_{i \in V} d_i} \times 100\%, \quad \text{criterium (3)} = \frac{\sum_{i \in V} d_i y_{i3}}{\sum_{i \in V} d_i} \times 100\%$$

Met $y_{ik} = 1$ als oproep i door minstens k ambulances gedekt wordt binnen 15 minuten.

Niet alle modellen gebruiken de voor de berekeningen benodigde variabelen y_{i1} , y_{i2} en y_{i3} . Indien dit het geval is, worden eerst de variabelen gevuld zodat $y_{ik} = 1$ als $\sum_{j \in W_i} x_j \geq k$.

CRITERIA (4) EN (5)

Criteria (4) en (5) zijn toegevoegd om inzichtelijk te maken of de modellen een goede dekking bieden binnen een kleinere, respectievelijk grotere, tijdstraal. Ze kunnen op eenzelfde manier berekend worden als criteria (1), (2) en (3). Daarbij zijn wel een aantal nieuwe parameters nodig.

Het vullen van de benodigde parameters en de berekening van criterium (4) gaat als volgt:

$$W8_i = \{j \mid t_{ji} \leq 5\}$$

$$\sum_{j \in W8_i} x_j \geq z8_i$$

$$\text{criterium (4)} = \frac{\sum_{i \in V} d_i z8_i}{\sum_{i \in V} d_i} \times 100\%$$

Hierbij is $W8_i$ de verzameling van alle ambulances die punt i binnen 8 minuten kunnen bereiken (want 5 minuten aanrijtijd + 3 minuten = 8 minuten responstijd). Er geldt $z8_i = 1$ als oproeppunt i binnen 8 minuten kan worden bereikt door tenminste één geplaatste ambulance.

Het vullen van de benodigde parameters en de berekening van criterium (5) gaat op een vergelijkbare manier:

$$W20_i = \{j | t_{ji} \leq 17\}$$

$$\sum_{j \in W20_i} x_j \geq z20_i$$

$$\text{criterium (5)} = \frac{\sum_{i \in V} d_i z20_i}{\sum_{i \in V} d_i} \times 100\%$$

Hierbij is $W20_i$ de verzameling van alle ambulances die punt i binnen 20 minuten kunnen bereiken (want 17 minuten aanrijtijd + 3 minuten = 20 minuten responstijd). $z20_i=1$ als oproeppunt i binnen 20 minuten kan worden bereikt door tenminste één geplaatste ambulance.

CRITERIUM (6)

De betrouwbaarheid van criterium (6) wordt getest aan de hand van de doelfunctie van MEXCLP. Dit criterium beantwoordt de volgende vraag: hoeveel procent van de oproepen wordt, gezien de busy fraction q , inderdaad binnen 15 minuten door een ambulance bereikt? De berekening kan rechtstreeks met de doelfunctie van MEXCLP:

$$\text{criterium (6)} = \frac{\sum_{i \in V} \sum_{k=1}^p d_i (1-q) q^{k-1} y_{ik}}{\sum_{i \in V} d_i} \times 100\%$$

CRITERIUM (7)

Met criterium (7) wordt onderzocht wat de maximale aanrijtijd is voor een oproep, ervan uitgaande dat alle ambulances beschikbaar zijn. Deze maximale aanrijtijd kan als volgt worden berekend:

$$G = \{j \in W | x_j > 0\}$$

$$\tau_i = \min_{j \in G} t_{ji}$$

$$\text{criterium (7)} = \max_{i \in V} \tau_i$$

Hierbij is G de verzameling standplaatsen waar een ambulance geplaatst is. τ_i is de minimale aanrijtijd naar punt i van alle geplaatste ambulances.

CRITERIUM (8)

Criterium (8) ziet op de gemiddelde aanrijtijd, ervan uitgaande dat alle ambulances beschikbaar zijn. Dit is gelijk aan de doelfunctie van ATTM. Het gewogen gemiddelde van de aanrijtijden kan na het vinden van τ_i eenvoudig worden berekend met de volgende formule:

$$\text{criterium (8)} = \frac{\sum_{i \in V} d_i \tau_i}{\sum_{i \in V} d_i}$$

CRITERIUM (9)

Met behulp van criterium (9) wordt duidelijk binnen welke tijd het overgrote deel van de oproepen bereikt kan worden. Hierbij worden de 5% grootste uitschieters buiten beschouwing gelaten. Criterium (9) kan worden berekend met behulp van τ_i en het volgende minimalisatiemodel:

Minimaliseer:	R	Minimaliseer de tijdstraal R waarbinnen 95% van de oproepen bereikt kan worden.
Onder de voorwaarden:	$\sum_{i \in V} d_i g_i \geq 0.95 \sum_{i \in V} d_i$ $\tau_i g_i \leq R$ $R \in \mathbb{R}$ $g_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in V$	Er moet minstens 95% van de gewogen oproepen worden meegenomen. $g_i = 1$ als $\tau_i \leq R$.

Na minimalisatie is de waarde van R de tijd waarbinnen 95% van de oproepen bereikt kunnen worden.

CRITERIUM (10)

Criterium (10) is gelijk aan de doelfunctie van ATTM3. De waarde kan worden berekend door gegeven de oplossingen van de verschillende modellen de doelfunctie van ATTM3 te bepalen. De gezochte waarde is dan gelijk aan:

$$\text{criterium (8)} = \frac{\sum_{j \in W} \sum_{i \in V} d_i t_{ji} [(1-q)f_{ji1} + (1-q)qf_{ji2} + q^2 f_{ji3}]}{\sum_{i \in V} d_i}$$

CRITERIUM (11)

Eigenschap (11) is niet gerelateerd aan een doelfunctie, maar de oplostijd is wel degelijk relevant bij de keuze voor een bepaald model. De oplostijd kan na het runnen van een model worden opgevraagd. Dit onderzoek is uitgevoerd op een Windows computer met Intel Core i5-3210M processor (2,50 GHz) en 4 GB RAM. Bij de optimalisatie is gebruik gemaakt van de solver CPLEX 12.6.

4.2. VERGELIJKING VAN MODELLEN ONDERLING

Bij deze vergelijking is het de bedoeling dat de modellen zelf de standplaatsen en het aantal ambulances per standplaats bepalen. Om ervoor te zorgen dat maximaal het huidige aantal standplaatsen kan worden gebruikt en daarbij een 'eerlijke' vergelijking te maken tussen MCLP, DSM, ATTM, MEXCLP, MALP en ATTM3, zijn de modellen voor het onderzoek op een paar kleine punten aangepast.

4.2.1. AANPASSINGEN AAN DE MODELLEN

BEPERKING AANTAL STANDPLAATSEN

Zoals eerder aangegeven is het de bedoeling dat het aantal standplaatsen wordt beperkt tot maximaal het huidige aantal standplaatsen. Bij sommige modellen gaat dit vanzelf goed, andere modellen (zoals MCLP en ATTM) zijn geneigd de ambulances zoveel mogelijk te spreiden. Om ervoor te zorgen dat bij elk model de ambulances niet over meer dan het huidige aantal standplaatsen worden verdeeld, zijn de volgende voorwaarden toegevoegd:

Extra voorwaarden:	$p \cdot h_j \geq x_j$ $\sum_{j \in W} h_j \leq s_{\max}$	$h_j = 1$ als $x_j > 0$ Niet meer dan s_{\max} stand- plaatsen kunnen worden gebruikt.
	$h_j \in \{0, 1\}$	$\forall j \in W$

Hierbij is s_{\max} het huidige aantal standplaatsen van de betreffende RAV. De variabele h_j wordt ingevoerd om aan te geven of standplaats j gebruikt wordt. De eerste voorwaarde zorgt ervoor dat $h_j = 1$ als er één of meer ambulances op standplaats j staan (want als $x_j \geq 1$, dan moet $h_j = 1$ zijn zodat de voorwaarde geldt). $h_j = 0$ kan alleen gelden als er geen ambulances op standplaats j staan (dus als $x_j = 0$). De tweede voorwaarde zorgt ervoor dat er niet meer dan s_{\max} standplaatsen gebruikt worden.

MEERDERE AMBULANCES PER STANDPLAATS MOGELIJK

In de modellen MCLP, MALP en ATTM geldt als voorwaarde $x_j \in \{0, 1\}$. Dat wil zeggen dat er niet meer dan één ambulance per standplaats kan worden neergezet. Met de beperking van het aantal standplaatsen, moet het echter mogelijk zijn meerdere ambulances per standplaats neer te zetten. Want als er bijvoorbeeld zoals in Groningen 15 ambulances beschikbaar zijn, en deze verdeeld moeten worden over maximaal 13 standplaatsen, dan kunnen MCLP, MALP en ATTM de twee extra ambulances niet kwijt. Daarom zijn deze 3 modellen zo aangepast dat er meerdere ambulances per standplaats kunnen staan: $x_j \in \mathbb{N}$ (zoals ook in de modellen DSM, MEXCLP en ATTM3).

MAXIMUM AANTAL AMBULANCES PER STANDPLAATS

MCLP en ATTM richten zich met hun doelfuncties (maximaliseren van de dekking door één ambulance binnen 15 minuten, en minimaliseren van de gemiddelde aanrijtijd van de dichtstbijzijnde ambulances) alleen op het plaatsen van de eerste ambulance op een standplaats. Het heeft geen effect op de doelfuncties als een tweede (of derde, of vierde...) ambulance op een standplaats wordt geplaatst. Bij het voorbeeld van Groningen zullen MCLP en ATTM de twee overgebleven ambulances willekeurig plaatsen, bijvoorbeeld door beide ambulances op één standplaats erbij te zetten. Om de vergelijking van de modellen toch enigszins eerlijk te maken, is er voor gezorgd dat na plaatsing van de eerste s_{\max} ambulances, de overgebleven ambulances gelijkmatig verspreid worden. Daartoe is de volgende voorwaarde aan deze modellen toegevoegd:

$$x_j \leq p_j \quad \forall j \in W$$

Met $p_j = \lceil \frac{p}{s_{\max}} \rceil$. Dit zal in praktijk neerkomen op een maximum van twee ambulances per standplaats, omdat geen enkele RAV meer dan twee keer zoveel ambulances als standplaatsen heeft.

In het model van DSM is al de mogelijkheid opgenomen het maximale aantal ambulances per standplaats te bepalen. Er is voor gekozen $p_j = 3$ te nemen voor alle $j \in W$, omdat DSM gezien de doelfunctie alleen rekening houdt met de eerste twee ambulances op een standplaats. Eventueel overgebleven ambulances kunnen dan, in plaats van willekeurig geplaatst, het best gelijkmatig verdeeld worden over de standplaatsen.

4.2.2. OPLOSSINGEN

Voor dit onderzoek zijn de verschillende modellen geprogrammeerd in het optimalisatieprogramma AIMMS. Voor elke RAV zijn daarmee zes optimale oplossingen (voor elk model één) gevonden. AIMMS waarschuwde er wel regelmatig voor dat de oplossing niet uniek was. De door AIMMS gemaakte keuzes voor bepaalde oplossingen kunnen invloed hebben gehad op de resultaten van dit onderzoek. Dat een aantal oplossingen dezelfde doelfunctiewaarde heeft, wil immers niet zeggen dat deze oplossingen ook hetzelfde scoren op de andere criteria.

Omdat het te onoverzichtelijk zou worden om alle oplossingen op de kaart van Nederland weer te geven, zal worden ingezoomd op de oplossing van één RAV: RAV 17, Rotterdam-Rijnmond.

4.2.3. OPLOSSINGEN RAV 17

In de figuren 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 zijn de gevonden oplossingen voor Rotterdam-Rijnmond (RAV 17) te zien. In deze RAV zijn er gemiddeld twaalf ambulances beschikbaar voor A1- en A2-vervoer (dus $p = 12$), en zijn er momenteel tien standplaatsen ($s_{\max} = 10$). Dus de modellen kunnen twaalf ambulances neerzetten, verdeeld over maximaal tien standplaatsen.

MCLP

Figuur 4.1 geeft een optimale oplossing van MCLP. Vanwege haar doelfunctie heeft MCLP de meest gelijkmatige spreiding: zoveel mogelijk oproepen moeten immers binnen 15 minuten bereikt kunnen worden. Op twee standplaatsen staan twee ambulances. Dat komt doordat er een maximum is gesteld aan het aantal standplaatsen. Voor de doelfunctie van MCLP is het niet relevant of er één of twee ambulances op een standplaats staan. Er wordt alleen gekeken naar dekking door minstens één ambulance, dus het is puur toeval dat de twee extra ambulances in de buurt van de stad terecht zijn gekomen. Overigens had MCLP ook zonder beperking van het aantal standplaatsen op deze oplossing kunnen komen, omdat met de gevonden oplossing 100% van alle oproepen binnen 15 minuten bereikt kan worden. De extra ambulances zijn voor de doelfunctie dus overbodig en kunnen op een willekeurige plaats worden neergezet (al dan niet op een plek waar al een standplaats is). In slechts drie RAV's is er met het huidige aantal standplaatsen geen 100% dekking met MCLP: Friesland, Gelderland Midden en Limburg Noord. In Friesland zijn er nog drie standplaatsen nodig, in Gelderland Midden en Limburg Noord één standplaats. [14, p. 70]

DSM

In figuur 4.2 is te zien dat DSM vanwege de doelfunctie op zoveel mogelijk standplaatsen twee ambulances neerzet. Dat komt doordat DSM maximaliseert op 2x gedekt. In Rotterdam-Rijnmond kan bijna 96,9% van de oproepen dubbel worden gedekt (dit ligt dicht bij het gemiddelde van alle RAV's van 95,7%). DSM zorgt er daarnaast voor dat alle oproepen binnen 20 minuten bereikt kunnen worden (aanrijtijd van 17 minuten), en dat in ieder geval 95% van de oproepen binnen de 15-minutennorm valt. Vandaar dat de standplaatsen wel gelijkmatig verdeeld zijn.

ATTM

In figuur 4.3 is te zien dat ATTM de ambulances weer wat meer spreidt. Dit om de gemiddelde aanrijtijd (waarbij alleen de rijtijd vanaf de meest dichtbijzijnde ambulance wordt meegenomen) zo laag mogelijk te houden. Net zoals MCLP wordt ATTM door het maximum op de standplaatsen gedwongen om op 2 standplaatsen meerdere ambulances neer te zetten. De keuze is weer willekeurig gemaakt, want de kortste aanrijtijd verbetert niet als er een extra ambulance op een standplaats wordt neergezet. De optimale oplossing van ATTM heeft een gemiddelde aanrijtijd van 4,7 minuten, het gemiddelde van alle RAV's is 4,9 minuten.

MEXCLP

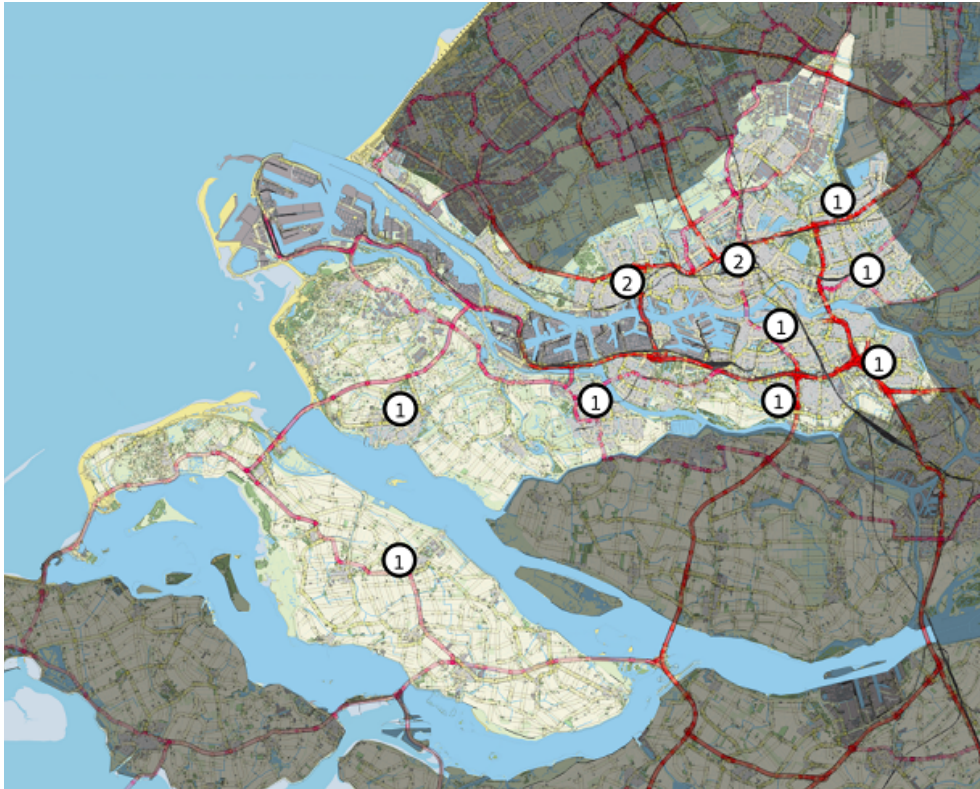
In figuur 4.4 is te zien dat MEXCLP de oproeppunten wat minder gelijkmatig verspreidt dan de voorgaande modellen. De ambulances staan vooral geconcentreerd rond de wat meer stedelijke gebieden. Dat ligt in de lijn der verwachting met de doelfunctie van MEXCLP, omdat deze de betrouwbaarheid dat er daadwerkelijk binnen 15 minuten een ambulance aanwezig is maximaliseert. En deze wordt hoger naarmate er meer ambulances binnen een straal van 15 minuten van een oproeppunt staan (zeker als het oproeppunt een grote populatie heeft). In het geval van Rotterdam-Rijnmond is deze betrouwbaarheid vrij laag: als je rekening houdt met de kans dat een ambulance beschikbaar is, wordt 90,9% binnen 15 minuten bereikt (over alle RAV's is dit gemiddeld 95,4%).



Figuur 4.1: Optimale oplossing MCLP (RAV 17)



Figuur 4.2: Optimale oplossing DSM (RAV 17)



Figuur 4.3: Optimale oplossing ATT (RAV 17)



Figuur 4.4: Optimale oplossing MEXCLP (RAV 17)



Figuur 4.5: Optimale oplossing MALP (RAV 17)

MALP

Figuur 4.5 geeft de optimale oplossing van MALP weer. De busy fraction in Rotterdam-Rijnmond is vrij hoog ($q = 0,4469$), en dus $b = 4$ ook. De doelstelling van MALP is om zoveel mogelijk oproepen b keer te dekken. In dit geval heeft MALP in de drie postcodegebieden met de grootste populatie elk vier ambulances geplaatst. Kennelijk wordt op deze manier het grootste aantal oproepen in Rotterdam-Rijnmond vier keer gedekt. Dit komt neer op 88,1% van de oproepen. Dit percentage ligt onder de gemiddelde doelfunctiewaarde van MALP van 92,6%.

ATTM3

Tot slot geeft figuur 4.6 de optimale oplossing van ATTM3. Daarbij is de doelfunctie om het gewogen gemiddelde van de aanrijtijden te minimaliseren rekening houdend met de beschikbaarheid van de eerste drie ambulances. De spreiding lijkt een beetje op die van ATTM. Wel zijn de standplaatsen dichter op elkaar geplaatst en zijn er op andere plekken twee ambulances neergezet. Op deze manier wordt er voor gezorgd dat er zoveel mogelijk ook een tweede en derde ambulance met een korte aanrijtijd is. Rekening houdende met de beschikbaarheid van de eerste drie ambulances kom je op een gemiddelde aanrijtijd van 6,7 minuten (gemiddeld over alle RAV's is dit 6,0 minuten).



Figuur 4.6: Optimale oplossing ATTMM3 (RAV 17)

4.2.4. ANALYSE VAN DE RESULTATEN

In tabel 4.1 staat een overzicht van de gemiddelde resultaten van alle RAV's.¹ De scores van de modellen op de doelfuncties en de elf criteria per RAV zijn te vinden in bijlage A. In deze paragraaf zullen de gemiddelde scores per criterium worden besproken, waarbij af en toe ter illustratie naar Rotterdam-Rijnmond zal worden verwezen.

Om de scores van de verschillende modellen op de criteria goed te kunnen vergelijken, zijn voor de eerste 10 criteria de gemiddelde GAP's berekend in tabel 4.2. Een GAP is de ratio van de afwijking van een waarde ten opzichte van het model dat het beste scoort op het betreffende criterium in die regio (als je de GAP vermenigvuldigt met 100% krijg je de procentuele afwijking). Een GAP van 0 betekent dat dit model de beste waarde geeft. Als de gemiddelde GAP van een bepaald model bij een criterium 0 is, wil dit zeggen dat het betreffende model in alle RAV's het beste scoort op dit criterium. Het kan zo zijn dat een model met het beste gemiddelde resultaat op een criterium een gemiddelde GAP > 0 heeft (zie bijvoorbeeld de score van MEXCLP op het criterium 3x gedekt). In dat geval zijn er RAV's waarin andere modellen beter scoren op dit criterium. Voor criterium (11) zijn de gemiddelde GAP's achterwege gelaten, want door de grote verschillen in de oplostijden komen hier waarden uit die niet veel zeggen.

CRITERIUM (1)

MCLP scoort zoals verwacht het beste op criterium (1) (1x gedekt), gemiddeld is 100% van de oproepen gedekt. Dit is immers de doelfunctie van MCLP. MEXCLP scoort ook heel goed met een gemiddelde GAP van 0,6%. Maar ook de andere modellen scoren gemiddeld goed op dit criterium. Alleen MALP scoort onder 95%, wat onacceptabel wordt gevonden binnen de norm 'beschikbare en bereikbare zorg' [16] [15]. In Rotterdam-Rijnmond heeft MALP zelfs maar een dekking van 88%, omdat MALP probeert zoveel mogelijk punten 4x te dekken. ATTMM3 zit gemiddeld net onder de in Referentiekader 2013 gebruikte 97%-norm. [16]

¹De percentages en de tijden in minuten zijn afgerond op één decimaal. De oplostijd in seconden is afgerond op twee decimalen.

Tabel 4.1: Gemiddelde resultaten alle RAV's

Criterion	Korte omschrijving	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	1x gedekt	100,0%	97,7%	97,6%	99,4%	93,5%	96,7%
2	2x gedekt	58,4%	95,7%	74,6%	91,9%	92,9%	83,4%
3	3x gedekt	23,4%	30,5%	47,1%	59,9%	58,2%	55,9%
4	binnen 8 min	24,0%	25,9%	56,7%	34,7%	22,6%	56,1%
5	binnen 20 min	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	98,2%	99,8%
6	betrouwbaarheid	87,6%	93,1%	90,4%	95,4%	91,3%	91,7%
7	max. aanrijtijd (min)	12,3	15,0	16,8	30,9	39,7	17,4
8	gem. aanrijtijd (min)	6,9	6,9	4,9	6,2	7,8	5,0
9	95% binnen .. min (min)	10,9	11,4	10,6	10,7	13,4	11,0
10	ATTM3 doelfunctie (min)	8,1	7,6	6,2	6,9	8,1	6,0
11	oplostijd (sec)	0,09	1,67	27,97	17,15	0,64	142,88

Tabel 4.2: Gemiddelde GAP's resultaten alle RAV's

Criterion	Korte omschrijving	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	1x gedekt	0	-0,022	-0,024	-0,006	-0,064	-0,033
2	2x gedekt	-0,397	-0,010	-0,229	-0,049	-0,039	-0,138
3	3x gedekt	-0,675	-0,592	-0,333	-0,125	-0,282	-0,206
4	binnen 8 min	-0,580	-0,537	-0,010	-0,383	-0,603	-0,018
5	binnen 20 min	0	0	-0,001	-0,001	-0,018	-0,002
6	betrouwbaarheid	-0,082	-0,025	-0,052	0	-0,044	-0,039
7	max. aanrijtijd	0,011	0,243	0,394	1,200	1,905	0,443
8	gem. aanrijtijd	0,416	0,425	0	0,267	0,588	0,019
9	95% binnen .. min	0,055	0,110	0,025	0,039	0,300	0,059
10	ATTM3 doelfunctie	0,382	0,280	0,037	0,170	0,365	0

CRITERIUM (2)

Op het criterium 2x gedekt scoort DSM het best met 95,7%, gevolgd door MALP en MEXCLP. Van DSM en MALP is dit te verwachten door hun doelfuncties. Als $b = 2$ kan het zelfs voorkomen dat MALP beter scoort dan DSM. Dan heeft MALP immers dezelfde doelfunctie en minder voorwaarden: MALP hoeft er in tegenstelling tot DSM niet voor te zorgen dat 100% van de oproepen binnen 20 minuten bereikt wordt en 95% binnen 15 minuten. Maar MEXCLP zorgt dus ook voor een goede dekking (met een gemiddelde GAP van 4,9%). ATTM en MCLP scoren niet goed. Dat komt doordat in deze modellen een tweede ambulance op een standplaats geen verbetering in de doelfunctie oplevert.

CRITERIUM (3)

MEXCLP scoort het best op het criterium 3x gedekt met een gemiddelde dekking van 59,9%. MEXCLP heeft echter wel een gemiddelde GAP van 12,5%. Dat betekent dat de score van MEXCLP op 3x gedekt gemiddeld 12,5% afwijkt van het model met de beste score in een bepaalde RAV. Dus MEXCLP scoort zeker niet in elke RAV het best op 3x gedekt. ATTM3 en MALP scoren ook relatief goed. Bij MALP komt dit doordat haar doelfunctie gelijk is aan dit criterium als $b = 3$. Ook als $b = 4$ kan MALP goed op dit criterium scoren, zoals het geval is in Rotterdam-Rijnmond: maar liefst 88% van de oproepen is daar 3x gedekt. We zien dat MCLP en DSM slecht scoren: zij houden beide geen rekening met een derde ambulance.

CRITERIUM (4)

Op criterium (4) scoren ATTM en ATTM3 overduidelijk het best. Bij ATTM is 56,7% gedekt binnen 8 minuten, bij ATTM3 gemiddeld 56,1% (beide met kleine gemiddelde GAP's). Dit komt doordat ATTM en ATTM3 de aanrijtijden minimaliseren. Blijkbaar lukt het om een redelijk deel van de oproepen onder een aanrijtijd van 5 minuten te houden. MEXCLP volgt op grote afstand met een gemiddelde GAP van 38,3%. De andere

modellen scoren allemaal slecht, omdat zij een responstijd van 15 minuten als goed beschouwen. Er is dan weinig reden om de aanrijtijden korter te maken dan 12 minuten.

CRITERIUM (5)

DSM en MCLP scoren heel goed op criterium (5). Bij DSM is het een eis dat alle oproepen een responstijd hebben van hooguit 20 minuten, hetgeen resulteert in een 100% score. MCLP scoort ook 100%, omdat MCLP er in bijna alle RAV's (op drie na) al in slaagt om een responstijd te hebben van minder dan 15 minuten. Het ligt dan voor de hand dat in de overige drie RAV's door de gelijkmatige spreiding alle oproepen in ieder geval binnen 20 minuten bereikt kunnen worden. Ook de overige modellen scoren goed op dit criterium. Alleen bij MALP kan gemiddeld maar 98,2 % van de bevolking binnen 20 minuten worden bereikt. Dat betekent dat gemiddeld 1,8% van de bevolking van een RAV niet worden bereikt binnen 20 minuten.

CRITERIUM (6)

Zoals verwacht scoort MEXCLP het best op de betrouwbaarheid, aangezien dit criterium gelijk is aan de doel-functie van MEXCLP. DSM, ATTM3 en MALP scoren ook redelijk goed op dit criterium, met gemiddelde GAP's van 2,5%, 3,9% en 4,4%. Dit zijn de modellen die er net zoals MEXCLP op gericht zijn om oproeppunten met meerdere ambulances te dekken.

CRITERIUM (7)

MCLP scoort het beste op maximale aanrijtijd. Dat komt door de maximalisatie van het aantal oproepen met een responstijd van ten hoogste 15 minuten.² De maximale aanrijtijd ligt net iets hoger dan 12 minuten (12,3 min), omdat in 3 RAV's geen 100% dekking kan worden gerealiseerd. Daarna scoort DSM het beste met een maximale aanrijtijd van 15,0 minuten. Deze waarde ligt onder de 17 minuten vanwege de voorwaarden van DSM.³ ATTM en ATTM3 scoren redelijk goed: rond de 17 minuten. MEXCLP en MALP hebben echter absurd hoge gemiddelde waarden. Deze gemiddelden zijn niet representatief, omdat Friesland een erg afwijkende waarde had. De oplossing van MEXCLP in Friesland kwam neer op een maximale aanrijtijd van 395,4 minuten, die van MALP op 423,2 minuten. Friesland is een geval apart, omdat er vier waddeneilanden bij RAV Friesland horen. Als een model op één van de eilanden geen ambulance neerzet, kan dit tot erg extreme aanrijtijden leiden. Als Friesland buiten beschouwing wordt gelaten, heeft MEXCLP wel een acceptabele gemiddelde maximale aanrijtijd van 15,0 minuten (zie tabel 4.3). Maar bij MALP en MEXCLP moet er dus worden gelet op mogelijke excessen. Ook in Rotterdam-Rijnmond had MALP een onacceptabele maximale aanrijtijd van 36 minuten, omdat er geen ambulance op Goeree-Overflakkee geplaatst is.

Tabel 4.3: Gemiddelde resultaten alle RAV's behalve Friesland

Criterion	Korte omschrijving	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
7	max. aanrijtijd (min)	12,1	15,0	16,7	15,0	23,0	17,3
8	gem. aanrijtijd (min)	6,9	6,9	4,9	6,1	7,6	5,0
11	oplostijd (sec)	0,07	0,58	16,49	0,64	0,60	65,18

CRITERIUM (8)

ATTM scoort het best op haar eigen doelfunctie (criterium (8)), met een gemiddelde aanrijtijd van 4,9 min. Vlak daarna komt ATTM3 met 5,0 min. MEXCLP scoort ook nog redelijk goed met een gemiddelde aanrijtijd van 6,2 minuten. Dat is echter wel met een verschil van gemiddeld 1,3 minuten. In veel andere landen wordt de 8-minutennorm gehanteerd⁴, omdat dit de tijd zou zijn waarbinnen iemand met bijvoorbeeld hartklachten nog zou kunnen worden gered. Met de oplossingen van ATTM en ATTM3 komt de ambulance dan gemiddeld op tijd, en met de oplossing van MEXCLP net niet. De andere modellen hebben een gemiddelde aanrijtijd die meer dan 2 minuten langer is ten opzichte van ATTM, en scoren dus niet goed op dit criterium.

²Dus met een aanrijtijd van ten hoogste 12 minuten.

³Alle oproepen hebben een responstijd van maximaal 20 minuten.

⁴De 8-minutennorm houdt in dat er naar een responstijd van 8 minuten wordt gestreefd. In Nederland zou hieraan worden voldaan met een aanrijtijd van ten hoogste 5 minuten.

CRITERIUM (9)

Op criterium (9) scoren MCLP, ATTM, MEXCLP en ATTM3 allemaal tussen de 10,5 en 11 minuten. Dan is dus sowieso minstens 95% van de oproepen gedekt binnen de 15-minutennorm, zelfs binnen 14 minuten.⁵ DSM scoort slechter, maar nog wel binnen de 15-minutennorm. Bij MALP heeft 95% van de oproepen een aanrijtijd van 13,4 minuten. Dus bij MALP voldoet minder dan 95% van de oproepen aan de 15-minutennorm.⁶

CRITERIUM (10)

ATTM3 scoort vanzelfsprekend het best op haar doelfunctie: rekening houdend met de beschikbaarheid van de eerste 3 ambulances is de aanrijtijd naar een oproeppunt gemiddeld 6,0 minuten. Daarna scoren ATTM en MEXCLP het best met een verschil van 0,2 min, respectievelijk 0,9 minuut.

CRITERIUM (11)

De oplostijden van de verschillende modellen kunnen behoorlijk verschillen. MCLP geeft al gemiddeld binnen 0,09 seconden een oplossing. MALP heeft een gemiddelde oplostijd van 0,64 sec en DSM een oplostijd van 1,67 seconden. De gemiddelde waarden zijn voor sommige modellen flink verslechterd door Friesland. Alle modellen hadden een langere rekentijd, waarschijnlijk door de aanwezigheid van de waddeneilanden. In tabel 4.3 is te zien dat, als Friesland buiten beschouwing wordt gelaten, DSM, MEXCLP en MALP gemiddeld een factor 9 langzamer zijn dan MCLP. ATTM en ATTM3 hebben een veel langere oplostijd. ATTM is een factor 236 langzamer dan MCLP, ATTM3 een factor 931. Met de huidige datagrootte is dit nog te overzien, maar zodra het probleem complexer wordt, kunnen berekeningen erg lang gaan duren. Bij Friesland deed ATTM3 er bijvoorbeeld al meer dan een half uur over.

4.2.5. CONCLUSIES

Naar aanleiding van de waarnemingen uit de vorige paragraaf, is het overzicht in tabel 4.4 gemaakt. Hierin zijn de scores van de modellen op de verschillende criteria uitgedrukt in gradaties van heel slecht tot heel goed: --, -, +/-, +, ++.

Tabel 4.4: Waarderingen criteria alle RAV's

Criterion	Korte omschrijving	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	1x gedekt	++	++	+	++	-	+
2	2x gedekt	-	++	-	+	+	+/-
3	3x gedekt	--	--	+/-	++	+	+
4	binnen 8 min	-	-	++	+/-	-	++
5	binnen 20 min	++	++	+	+	-	+
6	betrouwbaarheid	-	+	+/-	++	+	+
7	max. aanrijtijd	++	+	+	-	--	+
8	gem. aanrijtijd	+/-	+/-	++	+	-	++
9	95% binnen .. min	+	+/-	++	++	--	+
10	ATTM3 doelfunctie	-	+/-	++	+	-	++
11	oplostijd	++	+	-	+/-	+	--

MCLP

MCLP scoort heel goed op 1x gedekt, binnen 20 minuten, maximale aanrijtijd en oplostijd. Maar het is duidelijk dat MCLP geen rekening houdt met het feit dat het over het algemeen beter is als ergens twee (of meer) ambulances staan in plaats van één ambulance. MCLP scoort daarom slecht op 2x gedekt, 3x gedekt, betrouwbaarheid en de ATTM3 doelfunctie. Ook is te merken dat MCLP niet zo is ingesteld dat een aanrijtijd

⁵Bij een aanrijtijd van 11 minuten is de responstijd 11+3=14 minuten.

⁶Bij een aanrijtijd van 13,4 minuten is de responstijd 16,4 minuten.

beter is als deze korter is. Zodra de aanrijtijd hooguit 12 minuten is, is het voor MCLP goed. Daarom scoort MCLP niet goed op binnen 8 minuten en gemiddelde aanrijtijd.

MCLP heeft eigenschappen die ervoor zorgen dat ambulancestandplaatsen op een gelijkmatige manier verdeeld worden, zodat zoveel mogelijk oproeppunten binnen 15 minuten worden bereikt zonder te grote uit-spattingen. Gezien de criteria lijkt het niet nuttig om de ambulances gelijkmatig over de gevonden standplaatsen te verdelen, want de andere modellen scoren veel beter op de criteria die typisch aangeven of meerdere ambulances efficiënt zijn verdeeld (2x gedekt, 3x gedekt). MCLP kan dus beter niet worden gebruikt om zowel de standplaatsen als het aantal ambulances per standplaats te bepalen, zoals in dit onderzoek is gebeurd.

DSM

DSM scoort heel goed op 1x gedekt, 2x gedekt en binnen 20 minuten bereikbaar. Daarmee wordt goed aan de 15-minutennorm voldaan, waarbij zelfs veel oproeppunten dubbel worden gedekt. Extremen worden onder de 20 minuten gehouden, waardoor de maximale aanrijtijd klein blijft. Door de dubbele dekking is ook de betrouwbaarheid goed (over het algemeen zijn punten niet 3x gedekt, maar dat is niet in elke regio nodig). DSM dekt echter niet veel punten binnen 8 minuten en de gemiddelde aanrijtijd scoort matig. Net zoals de straal waarbinnen 95% van de punten gedekt is.

Wat betreft de criteria omtrent aanrijtijden is er dus veel verbetering mogelijk. Verder lijkt DSM een degelijk model te zijn.

ATTM

ATTM scoort net zoals MCLP niet goed op de criteria 2x gedekt, 3x gedekt en betrouwbaarheid. Ook ATTM houdt immers alleen rekening met dekking door één ambulance. Op de criteria binnen 8 minuten, gemiddelde aanrijtijd, de doelfunctie van ATTM en de tijdstraal waarbinnen 95% is gedekt, scoort ATTM heel goed. Op de belangrijkste eigenschappen van MCLP (1x gedekt, binnen 20 minuten en maximale aanrijtijd) scoort ATTM iets slechter dan MCLP, maar nog steeds goed. Wel heeft ATTM gemiddeld een lange oplostijd.

ATTM heeft dus goede eigenschappen om standplaatsen mee te bepalen, waarbij de focus ligt op korte aanrijtijden. Net zoals MCLP is het niet aan te raden ATTM te gebruiken om te bepalen hoeveel ambulances waar komen te staan, omdat ATTM geen slimme keuzes hierin kan maken.

MEXCLP

Het valt eigenlijk direct op dat MEXCLP op heel veel criteria goed scoort. Omdat MEXCLP net zoals MCLP en DSM (en MALP) een aanrijtijd van 15 minuten als goed beschouwd, zou je verwachten dat MEXCLP ook niet zo goed zou scoren op binnen 8 minuten, gemiddelde aanrijtijd, de tijdstraal waarbinnen 95% bereikt kan worden en de doelfunctie van ATTM3. Hier scoort MEXCLP echter ook redelijk tot goed op. Daarnaast scoort MEXCLP door haar doelfunctie (heel) goed op 1x gedekt, 2x gedekt, 3x gedekt en de betrouwbaarheid. Bovendien is de oplostijd van MEXCLP goed te overzien (zeker als Friesland niet wordt meegenomen). Het enige minpunt is dat MEXCLP in uitzonderingsgevallen een heel lange maximale aanrijtijd kan krijgen. In Friesland was dit het geval.

Onder de voorwaarde dat de maximale aanrijtijden goed in de gaten worden gehouden (als dit niet teveel rekentijd vergt zou bijvoorbeeld een maximale aanrijtijd toegevoegd kunnen worden als extra voorwaarde), is MEXCLP een uitstekend model om zowel standplaatsen als aantallen ambulances te bepalen.

MALP

Het lijstje met criteria ziet er voor MALP niet goed uit. MALP scoort goed op 2x gedekt en 3x gedekt, omdat dit de doelfunctie van MALP is als $b = 2$ of $b = 3$. Verder scoort MALP goed op de betrouwbaarheid, omdat MALP

bepaalt door hoeveel ambulances een punt gedekt moet zijn aan de hand van de busy fraction. De busy fraction is immers ook een belangrijk bestanddeel van het criterium betrouwbaarheid, de MEXCLP doelfunctie. MALP scoort dus goed op de criteria die met haar doelfunctie te maken hebben, maar neemt daarbij blijkbaar geen andere criteria mee. Het is zelfs zo dat met MALP gemiddeld minder dan 95% van de oproepen 1x gedekt zijn, terwijl Ambulancezorg Nederland ernaar streeft om 97% van de oproepen aan de 15-minutennorm te laten voldoen. Bovendien kan bijna 2% van alle oproepen niet bereikt worden binnen 20 minuten en scoort MALP heel slecht op de maximale aanrijtijden. Daarom biedt MALP te weinig zekerheid dat je overal in Nederland binnen een redelijke tijd bereikt kan worden door een ambulance. Er lijkt dan ook niet te worden voldaan aan de voor verantwoorde ambulancezorg noodzakelijke 'beschikbaarheid en bereikbaarheid'.

Gezien de slechte scores op de criteria is het niet aan te raden MALP te gebruiken.

ATTM3

Net zoals MEXCLP blijkt ATTM3 op veel punten goed te scoren. ATTM3 scoort vooral heel goed op binnen 8 minuten, gemiddelde aanrijtijd en haar eigen doelfunctie. Dit zijn allemaal aspecten die samenhangen met de doelfunctie van ATTM3. Maar ATTM3 scoort ook goed op aspecten waarop zij niet optimaliseert. Zoals bijvoorbeeld 1x gedekt, betrouwbaarheid (doelfunctie MEXCLP) en maximale aanrijtijd. Het criterium 2x gedekt is overigens eigenlijk ook redelijk goed met 83,4%. Hier is de waardering +/- gegeven omdat andere modellen duidelijk beter scoren (ATTM3 heeft een gemiddelde GAP van 13,8%). Het enige echte minpunt van ATTM3 is de oplostijd. ATTM3 doet er vele malen langer over om tot een oplossing te komen dan de andere modellen (MEXCLP is ongeveer 100 keer zo snel, Friesland niet meegerekend). En zeker bij het zoeken van een oplossing in complexere situaties, kan dat een belemmering zijn om ATTM3 te gebruiken.

Dus: mits er computer beschikbaar is met voldoende rekenkracht, kan ATTM3 een goed model zijn om zowel standplaatsen als aantallen ambulances mee te bepalen.

WELK MODEL TE GEBRUIKEN

Gezien de scores op de criteria zijn MEXCLP en ATTM3 de twee beste modellen bij het bepalen van zowel de standplaatsen als het aantal ambulances per standplaats. Bij de keuze tussen deze twee modellen is ten eerste de complexiteit van het op te lossen probleem en de rekenkracht van beschikbare computers van belang. Bij grote complexiteit en/of onvoldoende rekenkracht, kan het beste voor MEXCLP worden gekozen. MEXCLP is namelijk ongeveer met een factor 100 sneller dan ATTM3.

Als de complexiteit en rekenkracht geen rol spelen, moet er een afweging worden gemaakt tussen het belang van:

- Dekking
- Aanrijtijd

MEXCLP scoort beter op de dekkingscriteria dan ATTM3. Bij MEXCLP is bijvoorbeeld 99,4% 1x gedekt, bij ATTM3 96,7%. ATTM3 scoort beter op criteria inzake aanrijtijden. ATTM3 heeft een gemiddelde kortste aanrijtijd van 5,0 minuten, bij MEXCLP is dat 6,2 minuten.

Bij een keuze voor MEXCLP moet zoals aangegeven altijd worden gelet op mogelijke excessen in de maximale aanrijtijden.

4.3. VERGELIJKING VAN MODELLEN MET MCLP STANDPLAATSEN

Bij deze vergelijking worden eerst de standplaatsen bepaald met MCLP. Vervolgens bepalen de andere modellen hoeveel ambulances waar moeten worden neergezet. Hiervoor zijn de modellen op een paar kleine punten aangepast.

4.3.1. AANPASSINGEN AAN DE MODELLEN

MCLP wordt in de oorspronkelijke vorm gebruikt: er mag maar één ambulance per standplaats worden geplaatst. Als p wordt het huidige aantal standplaatsen s_{\max} gebruikt.

ALLEEN MCLP STANDPLAATSEN

Om ervoor te zorgen dat alleen MCLP standplaatsen kunnen worden gebruikt, is de volgende voorwaarde toegevoegd aan de modellen:

Extra voorwaarde:	$x_j = 0$	$\forall j \in W xMCLP_j = 0$	Als een punt niet wordt gebruikt als standplaats door MCLP, dan mag hier nu ook geen ambulance op komen te staan.
--------------------------	-----------	---------------------------------	---

Hierbij zijn $xMCLP_j$ de door MCLP gevonden standplaatsen ($xMCLP_j = 1$ dan en slechts dan als de standplaats j door MCLP gekozen is).

MEERDERE AMBULANCES PER STANDPLAATS

Bij MALP en ATTM is er weer voor gezorgd dat meerdere ambulances op dezelfde standplaats mogen worden geplaatst, dus $x_j \in \mathbb{N}$.

4.3.2. OPLOSSINGEN MET MCLP STANDPLAATSEN

Met behulp van het optimalisatieprogramma AIMMS zijn eerst voor elke RAV optimale oplossingen gevonden voor de MCLP standplaatsen. Vervolgens zijn voor de andere vijf modellen optimale oplossingen gevonden die alleen gebruik maken van deze MCLP standplaatsen. Er is weer voor gekozen in te zoomen op de oplossing van RAV 17, Rotterdam-Rijnmond.

4.3.3. OPLOSSINGEN RAV 17 MET MCLP STANDPLAATSEN

Hieronder staan de oplossingen van RAV 17 (Rotterdam-Rijnmond) met gebruik van MCLP standplaatsen. Allereerst zijn in figuur 4.7 de door MCLP gevonden standplaatsen te zien. Vervolgens kan uit figuren 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 en 4.12 worden opgemaakt waar de verschillende modellen de ambulances plaatsen.

MCLP

Merk op dat de standplaatsen die MCLP in figuur 4.7 heeft gekozen niet gelijk hoeven zijn aan de standplaatsen die MCLP in de vergelijking van de modellen onderling heeft bepaald (figuur 4.1). Er zijn voor Rotterdam-Rijnmond namelijk meerdere optimale oplossingen.

DSM

In figuur 4.8 is te zien dat DSM twee van de tien MCLP standplaatsen onbenut laat. Dit om zoveel mogelijk punten 2x te dekken, terwijl genoeg spreiding behouden blijft om aan de eisen te voldoen dat 95% van de oproepen bereikt kan worden binnen 15 minuten en 100% binnen 20 minuten.



Figuur 4.7: MCLP standplaatsen (RAV 17)



Figuur 4.8: Optimale oplossing DSM met MCLP standplaatsen (RAV 17)



Figuur 4.9: Optimale oplossing ATTM met MCLP standplaatsen (RAV 17)

ATTM

ATTM is duidelijk niet geschikt om te bepalen hoeveel ambulances waar moeten worden neergezet (figuur 4.9). ATTM gebruikt alle MCLP standplaatsen om zo overal een zo kort mogelijke aanrijtijd te realiseren. De extra ambulances zijn niet relevant voor het model, dus worden willekeurig neergezet op een locatie met kleine populatie.

MEXCLP

MEXCLP plaatst veel ambulances in en rondom de stad (figuur 4.10). Dit doet MEXCLP om ervoor te zorgen dat zoveel mogelijk punten inderdaad binnen 15 minuten worden bereikt, rekening houdend met de busy fraction. Er wordt geen ambulance geplaatst op Goerree-Overflakkee. Dit leidt tot lange aanrijtijden naar oproeppunten in dit deel van de RAV.

MALP

MALP kiest de drie MCLP standplaatsen uit met de grootste populatie en zet hier 4 ambulances neer (figuur 4.11). Dat is precies dezelfde strategie als in de vorige paragraaf (waarbij MALP zelf de standplaatsen kon bepalen), maar dan toegepast op een beperkter aantal standplaatsen: de MCLP standplaatsen.

ATTM3

ATTM3 plaatst net zoals MEXCLP meerdere ambulances rondom de stad, zodat daar ook de tweede en derde ambulance een goede aanrijtijd hebben (figuur 4.12).



Figuur 4.10: Optimale oplossing MEXCLP met MCLP standplaatsen (RAV 17)



Figuur 4.11: Optimale oplossing MALP met MCLP standplaatsen (RAV 17)



Figuur 4.12: Optimale oplossing ATTM3 met MCLP standplaatsen (RAV 17)

4.3.4. ANALYSE VAN DE RESULTATEN MET MCLP STANDPLAATSEN

In deze paragraaf zullen de effecten worden besproken van de MCLP standplaatsen op de werking van de verschillende modellen.

Tabel 4.5: Vergelijking gemiddelde doelfuncties alle RAV's

Doelfuncties	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
Zonder MCLP	95,7%	4,9 min	95,4%	92,6%	6,0 min
Met MCLP	80,7%	6,8 min	91,6%	83,3%	7,7 min

Uit tabel 4.5 is af te lezen dat de doelfuncties ernstig verslechteren door de modellen te beperken in de keuze voor standplaatsen:

- DSM kan ongeveer 15 procentpunt minder oproepen dekken.
- De gemiddelde aanrijtijd van ATTM neemt toe met 1,9 minuten.
- De betrouwbaarheid van MEXCLP gaat als gevolg van de beperking 3,8 procentpunt achteruit.
- MALP kan gemiddeld 9,3 procentpunt minder oproepen *b* keer dekken.
- De doelfunctie van ATTM3 verslechtert met 29 procentpunt. Oftewel: de gemiddelde aanrijtijd, rekening houdende met de beschikbaarheid van de drie meest dichtbijzijnde ambulances neemt met 1,7 minuten toe.

De gemiddelde scores van de modellen met MCLP standplaatsen op de elf criteria staan in tabel 4.6. In bijlage B zijn de scores van de modellen met MCLP standplaatsen op de doelfuncties en de elf criteria per RAV te vinden. Om het effect van de MCLP standplaatsen op de werking van de verschillende modellen te kunnen

analyseren, staan in tabel 4.7 de GAP's van de modellen met MCLP standplaatsen ten opzichte van dezelfde modellen zonder MCLP standplaatsen. Door deze GAP's te vermenigvuldigen met 100% kan hieruit de procentuele verandering ten gevolge van MCLP worden afgelezen. Als de vakjes groen zijn gekleurd, betekent het dat de MCLP standplaatsen voor een verbetering zorgen. De ongekleurde vakjes zorgen voor een verslechtering.

Tabel 4.6: Gemiddelde resultaten alle RAV's met MCLP standplaatsen

Criterion	Korte omschrijving	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	1x gedekt	98,2%	99,9%	99,3%	87,8%	99,3%
2	2x gedekt	80,7%	49,5%	79,4%	84,3%	75,7%
3	3x gedekt	28,1%	25,8%	35,8%	47,7%	36,5%
4	binnen 8 min	23,7%	25,9%	24,7%	19,3%	25,5%
5	binnen 20 min	100,0%	100,0%	99,7%	96,6%	99,9%
6	betrouwbaarheid	90,2%	86,0%	91,6%	84,9%	91,0%
7	max. aanrijtijd (min)	14,5	12,4	31,5	41,7	15,3
8	gem. aanrijtijd (min)	7,1	6,8	7,0	8,5	6,9
9	95% binnen .. min (min)	11,4	11,0	11,2	15,4	11,2
10	ATTM3 doelfunctie (min)	7,9	8,2	7,8	8,8	7,7
11	oplostijd (sec)	0,07	0,25	0,06	0,06	0,57

Tabel 4.7: GAP's gemiddelde resultaten alle RAV's met MCLP standplaatsen t.o.v. zonder MCLP standplaatsen

Criterion	Korte omschrijving	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	1x gedekt	0,004	0,023	-0,001	-0,061	0,027
2	2x gedekt	-0,157	-0,337	-0,136	-0,092	-0,092
3	3x gedekt	-0,079	-0,452	-0,403	-0,181	-0,347
4	binnen 8 min	-0,083	-0,542	-0,288	-0,148	-0,545
5	binnen 20 min	0	0,001	-0,002	-0,016	0,001
6	betrouwbaarheid	-0,030	-0,050	-0,040	-0,070	-0,007
7	max. aanrijtijd	-0,037	-0,261	0,018	0,052	-0,122
8	gem. aanrijtijd	0,024	0,375	0,131	0,094	0,364
9	95% binnen .. min	-0,006	0,041	0,044	0,145	0,018
10	ATTM3 doelfunctie	0,049	0,334	0,123	0,084	0,289
11	oplostijd (sec)	-0,959	-0,991	-0,996	-0,912	-0,996

DSM

DSM met MCLP standplaatsen scoort op een aantal punten beter dan DSM zonder MCLP standplaatsen. Het gaat om de eigenschappen 1x gedekt, maximale aanrijtijd, de tijdstraal waarbinnen 95% van de oproepen bereikt kunnen worden en de oplostijd. De verbeteringen van deze eerste drie criteria zijn heel klein. Bovendien scoorde DSM op deze criteria sowieso al goed tot heel goed. Deze verbeteringen wegen daarom niet op tegen de verslechtering van de doelfunctie van 15 procentpunt.

ATTM

Bij de oplossing van Rotterdam-Rijnmond werd duidelijk dat het geen nut heeft om ATTM met MCLP standplaatsen toe te passen. ATTM gebruikt dan sowieso alle standplaatsen van MCLP om naar elk oproeppunt een zo kort mogelijke aanrijtijd te krijgen. De werking van ATTM wordt dus volledig teniet gedaan als ATTM niet zelf de standplaatsen kan kiezen. Er zijn wat kleine verbeteringen ten opzichte van ATTM zonder MCLP standplaatsen, maar dat zijn precies de punten waarop MCLP beter scoort dan ATTM (want in feite worden deze modellen nu met elkaar vergeleken).

MEXCLP

Bij MEXCLP blijkt dat als gevolg van de MCLP standplaatsen alle criteria verslechteren, behalve de oplostijd. De oplostijd is echter vervuld door Friesland. Als bij de oplostijd Friesland buiten beschouwing wordt gelaten, volgt dat MEXCLP zonder MCLP standplaatsen een oplostijd heeft van 0,64 sec (zie tabel 4.3). MEXCLP met MCLP heeft zonder Friesland een oplostijd van 0,030 sec. Dus dan is MEXCLP zonder standplaatsen ongeveer factor 20 langzamer. Het lijkt erop dat deze extra rekentijd opweegt tegen de hoge scores op de overige criteria.

MALP

Ook bij MALP verslechteren alle criteria door de beperking tot MCLP standplaatsen. MALP kwam al als slechtste model uit de bus, dus MALP met MCLP standplaatsen lijkt geen slimme keuze.

ATTM3

Bij ATTM3 zijn weer wat verbeteringen te zien. De maximale aanrijtijd lijkt op het eerste gezicht een relevante verbetering te zijn. Maar de maximale aanrijtijd van ATTM3 zonder MCLP standplaatsen was al goed met een gemiddelde van 17,4 minuten. Er is wel een grote verbetering in de oplostijd. Deze lijkt echter wederom niet op te wegen tegen de verslechtering van de werking van het model op de voor ATTM3 essentiële criteria: binnen 8 min, gemiddelde aanrijtijd en ATTM3 doelfunctie.

4.3.5. CONCLUSIES MCLP STANDPLAATSEN

Alle modellen lijken ernstig te worden beperkt in hun werking als alleen gebruik kan worden gemaakt van MCLP standplaatsen. Het gebruik van MCLP standplaatsen leidt tot hevige verslechtingen van de doelfuncties en de criteria waar modellen normaal goed op scoren.

Het enige criterium waar alle modellen met MCLP standplaatsen goed op scoren, is oplostijd. Deze oplostijd lijkt echter niet op te wegen tegen de verslechtingen op de andere criteria. Zeker omdat de modellen maar eens in het jaar of zelfs eens in de paar jaar hoeven te worden toegepast om de ambulanceplaatsingsvraag te beantwoorden. Als oplostijd een belangrijke factor is, kan het best MEXCLP zonder MCLP standplaatsen worden toegepast. Dit model is zo'n factor 20 langzamer dan MEXCLP met MCLP standplaatsen (Friesland niet meegerekend), maar scoort goed op alle criteria. Hierover is meer te lezen in paragraaf 4.2.5.

5

CONCLUSIE, DISCUSSIE EN VERVOLGONDERZOEK

In dit hoofdstuk zal eerst ingegaan worden op de conclusie. Vervolgens volgen een korte discussie en suggesties voor vervolgonderzoek.

5.1. CONCLUSIE

Uit de vergelijking van de zes modellen onderling is gebleken dat niet alle modellen even geschikt zijn om zowel standplaatsen als het aantal ambulances per standplaats te bepalen.

ATTM en MCLP houden bijvoorbeeld geen rekening met het feit dat het in beginsel beter is als er meerdere ambulances op een standplaats geplaatst zijn. Uit het onderzoek blijkt dan ook dat ATTM en MCLP slecht scoren op criteria waaruit kan worden opgemaakt of meerdere ambulances efficiënt zijn verdeeld (bijvoorbeeld 2x gedekt en 3x gedekt). Deze modellen kunnen dus beter niet worden gebruikt om zowel de standplaatsen als het aantal ambulances per standplaats te bepalen.

MALP scoort alleen goed op criteria die samenhangen met haar eigen doelfunctie. Op de overige criteria is de score van MALP erg slecht. Uit het onderzoek blijkt dan ook dat MALP over het algemeen geen goede keuze is.

DSM scoort heel goed op een aantal criteria die een degelijke dekking zonder uitspattingen garanderen. Er is echter wel veel verbetering mogelijk op het gebied van aanrijtijden.

Gezien de scores op de elf criteria, zijn MEXCLP en ATTM3 de beste modellen als de standplaatsen niet vaststaan. MEXCLP scoort daarbij iets beter op de dekkingscriteria, terwijl ATTM3 beter scoort op criteria met betrekking tot aanrijtijden. Bij de keuze tussen deze twee modellen is het allereerst van belang dat ATTM3 een aanzienlijk langere oplostijd heeft dan MEXCLP. Als dit geen probleem is, kan een belangenafweging worden gemaakt tussen dekking en aanrijtijden. Als voor MEXCLP wordt gekozen, moet er wel rekening mee worden gehouden dat MEXCLP in uitzonderingsgevallen op extreme maximale aanrijtijden kan uitkomen.

De modellen worden ernstig in hun werking beperkt als gebruik wordt gemaakt van MCLP standplaatsen. Met MCLP standplaatsen zijn er hevige verslechtingen in de doelfuncties en kenmerkende criteria. Wel hebben de modellen met MCLP standplaatsen heel goede oplostijden. Deze oplostijden lijken bij geen van de modellen op te wegen tegen de verslechtingen op de andere criteria.

Als de oplostijd een belangrijke factor is, kan het best MEXCLP zonder MCLP standplaatsen worden toegepast. Dit model is weliswaar met ongeveer factor 20 langzamer dan MEXCLP met MCLP standplaatsen, maar scoort zoals hiervoor al aangegeven goed op bijna alle criteria.

5.2. DISCUSSIE EN VERVOLGONDERZOEK

In veel RAV's heeft MCLP met het huidige aantal standplaatsen meerdere optimale oplossingen. De oplossingen waarmee in dit onderzoek is gewerkt, zijn willekeurig gekozen door het optimalisatieprogramma AIMMS. Wellicht hadden andere optimale oplossingen van MCLP tot betere (of juist slechtere) resultaten kunnen leiden. Doordat bij dit onderzoek oplossingen voor 24 verschillende RAV's zijn bepaald, zullen de excessen elkaar waarschijnlijk hebben uitgemiddeld.

Wellicht kan bij het lezen van dit onderzoek de vraag opkomen welk model in praktijk het best kan worden toegepast als gebruik moet worden gemaakt van de bestaande MCLP standplaatsen. Deze vraag valt buiten het bereik van dit onderzoek, maar zou wel kunnen worden beantwoord met behulp van de bij het onderzoek vergaarde data (te vinden in de tabellen 4.1, 4.6 en in de bijlagen A en B). Dit vervolgonderzoek zal op dezelfde wijze als de vergelijking van de modellen zonder MCLP standplaatsen (paragraaf 4.2) kunnen worden uitgevoerd.

Zoals in de conclusie wordt aangegeven, scoren MEXCLP en ATTM3 het beste op de elf criteria. In plaats van een keuze te maken tussen deze twee modellen, zou kunnen worden overwogen de modellen te combineren, zodat op beide doelstellingen tegelijkertijd wordt geoptimaliseerd. Op deze manier kan mogelijk een nog betere score op de elf criteria worden bereikt. Door de vele voorwaarden en variabelen die nodig zijn voor het gecombineerde model, is echter te verwachten dat de oplostijd daarbij verslechtert.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Andersson, T., & Värbrand, P. (2007). Decision support tools for ambulance dispatch and relocation. *Journal of the Operational Research Society*, 58(2), 195-201.
- [2] Ambulancezorg Nederland (2012). Ambulance in-zicht 2012.
- [3] Ambulancezorg Nederland(2013). Nota Verantwoorde Ambulancezorg.
- [4] Ambulancezorg Nederland. Figuur met RAV indeling. Verkregen op 21 mei 2014 via www.ambulancezorg.nl.
- [5] Brotcorne, L., Laporte, G., & Semet, F. (2003). Ambulance location and relocation models. *European journal of operational research*, 147(3), 451-463.
- [6] Buuren, M. van (2010). TIFAR modeling package for the evaluation of emergency medical services with EMS modeling results for the Amsterdam area. Doctoral dissertation, Delft University of Technology. Verkregen op 30 april 2014 via repository.tudelft.nl.
- [7] Church, R., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers in regional science*, 32(1), 101-118.
- [8] Daskin, M. S. (1983). A maximum expected covering location model: formulation, properties and heuristic solution. *Transportation Science*, 17(1), 48-70.
- [9] Daskin, M. S., & Stern, E. H. (1981). A hierarchical objective set covering model for emergency medical service vehicle deployment. *Transportation Science*, 15(2), 137-152.
- [10] Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F. (1997). Solving an ambulance location model by tabu search. *Location science*, 5(2), 75-88.
- [11] Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F. (2001). A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real-time ambulance relocation. *Parallel computing*, 27(12), 1641-1653.
- [12] S. G. Henderson, & A. J. Mason (2005). Ambulance Service Planning: Simulation and data visualisation. Cornell University & University of Auckland.
- [13] Hogan, K., & Revelle, C. (1986). Concepts and applications of backup coverage. *Management Science*, 32(11), 1434-1444.
- [14] Kerckamp, R.B.O. (2014). Facility Location Models in Emergency Medical Service: Robustness and Approximations. Master thesis, Delft University of Technology. Verkregen op 19 juni 2014 via repository.tudelft.nl.
- [15] Kommer, G. J., & Zwakhals, S. L. N. (2011). Modellen referentiekader ambulancezorg 2008: Documentaire rijtijden-en capaciteitsmodel. RIVM rapport 270412001.
- [16] Kommer, G. J., & Zwakhals, S. L. N. (2013). Referentiekader Spreiding en Beschikbaarheid Ambulancezorg 2013. RIVM briefrapport 270412003.
- [17] Lee, S. (2011). The role of preparedness in ambulance dispatching. *Journal of the Operational Research Society*, 62(10), 1888-1897.
- [18] Li, X., Zhao, Z., Zhu, X., & Wyatt, T. (2011). Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review. *Mathematical Methods of Operations Research*, 74(3), 281-310.

-
- [19] Lim, C. S., Mamat, R., & Bräunl, T. (2011). Impact of ambulance dispatch policies on performance of emergency medical services. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 12(2), 624-632.
- [20] Maxwell, M. S., Henderson, S. G., & Topaloglu, H. (2009, December). Ambulance redeployment: An approximate dynamic programming approach. In *Winter Simulation Conference* (pp. 1850-1860). Winter Simulation Conference.
- [21] ReVelle, C., & Hogan, K. (1989). The maximum availability location problem. *Transportation Science*, 23(3), 192-200.
- [22] Zaki, A. S., Cheng, H. K., & Parker, B. R. (1997). A simulation model for the analysis and management of an emergency service system. *Socio-Economic Planning Sciences*, 31(3), 173-189.
- [23] Zuidhof, G. M. (2010). *Capacity Planning of Ambulance Services: Statistical Analysis, Forecasting and Staffing*. Vrije Universiteit Amsterdam and CWI. Verkregen op 29 mei 2014 via few.vu.nl.

A

VERGELIJKING MODELLEN ONDERLING: RESULTATEN PER RAV

Tabel A.1: Doelfuncties

RAVnr	RAV naam	MCLP	DSM	ATM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	100,0%	96,1%	4,7	96,7%	96,2%	5,5
2	Friesland	99,8%	94,8%	5,5	98,3%	97,5%	6,0
3	Drenthe	100,0%	86,4%	5,0	94,3%	89,9%	6,2
4	IJsselland	100,0%	96,7%	4,5	96,5%	97,2%	5,4
5	Twente	100,0%	100,0%	4,7	98,7%	100,0%	5,4
6	Noordoost Gelderland	100,0%	89,9%	5,6	93,1%	93,1%	6,8
7	Gelderland Midden	100,0%	89,1%	5,2	90,8%	74,7%	6,4
8	Gelderland Zuid	100,0%	98,6%	4,5	97,1%	98,6%	5,5
9	Utrecht	100,0%	99,4%	5,2	95,5%	92,1%	6,2
10	Noord-Holland Noord	100,0%	95,3%	5,1	95,7%	96,0%	6,4
11	Amsterdam/Waterland	100,0%	100,0%	4,1	99,1%	99,8%	4,9
12	Kennemerland	100,0%	100,0%	3,8	98,2%	95,4%	5,0
14	Gooi- en Vechtstreek	100,0%	100,0%	4,5	98,7%	96,4%	5,3
15	Haaglanden	100,0%	100,0%	3,8	99,0%	99,2%	4,6
16	Hollands Midden	100,0%	97,3%	4,8	93,4%	85,4%	6,3
17	Rotterdam-Rijnmond	100,0%	96,9%	4,7	90,9%	88,1%	6,7
18	Zuid-Holland Zuid	100,0%	98,4%	5,0	96,3%	98,5%	5,9
19	Zeeland	100,0%	98,4%	4,9	99,0%	98,4%	5,1
20	Midden West Brabant	100,0%	97,7%	5,2	95,2%	89,8%	6,3
21	Brabant Noord	100,0%	94,4%	5,8	93,7%	82,8%	6,8
22	Zuidoost Brabant	100,0%	95,3%	6,0	93,3%	87,7%	6,8
23	Limburg Noord	99,6%	83,9%	6,0	91,3%	90,8%	6,9
24	Zuid Limburg	100,0%	97,9%	6,0	90,7%	79,5%	7,1
25	Flevoland	100,0%	90,3%	4,0	94,1%	94,4%	5,3
	Gemiddelde	100,0%	95,7%	4,9	95,4%	92,6%	6,0

Tabel A.2: Criterium (1) 1x gedekt

RAVnr	RAV naam	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	100,0%	97,3%	97,9%	99,6%	96,5%	97,5%
2	Friesland	99,8%	96,6%	96,1%	99,5%	97,5%	95,8%
3	Drenthe	100,0%	95,2%	98,3%	99,1%	90,4%	96,1%
4	IJsselnd	100,0%	96,7%	96,1%	99,6%	97,2%	96,1%
5	Twente	100,0%	100,0%	99,7%	100,0%	100,0%	99,2%
6	Noordoost Gelderland	100,0%	95,2%	96,6%	98,8%	93,1%	95,3%
7	Gelderland Midden	100,0%	95,2%	95,9%	98,1%	78,9%	95,2%
8	Gelderland Zuid	100,0%	98,6%	96,8%	99,8%	98,6%	97,2%
9	Utrecht	100,0%	99,4%	98,3%	99,4%	92,1%	97,5%
10	Noord-Holland Noord	100,0%	97,4%	98,4%	99,9%	96,9%	94,3%
11	Amsterdam/Waterland	100,0%	100,0%	98,9%	100,0%	99,8%	98,9%
12	Kennemerland	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%
14	Gooi- en Vechtstreek	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	94,9%
15	Haaglanden	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,2%	99,1%
16	Hollands Midden	100,0%	97,8%	97,7%	99,5%	89,2%	97,7%
17	Rotterdam-Rijnmond	100,0%	97,9%	98,2%	98,2%	88,1%	98,2%
18	Zuid-Holland Zuid	100,0%	98,5%	96,2%	98,5%	98,9%	96,2%
19	Zeeland	100,0%	98,4%	95,4%	100,0%	98,4%	95,4%
20	Midden West Brabant	100,0%	97,7%	97,3%	98,9%	93,4%	95,2%
21	Brabant Noord	100,0%	96,5%	99,2%	99,3%	82,8%	99,7%
22	Zuidoost Brabant	100,0%	96,8%	91,7%	98,5%	87,7%	91,4%
23	Limburg Noord	99,6%	95,8%	96,6%	99,6%	90,8%	95,8%
24	Zuid Limburg	100,0%	98,4%	97,6%	99,5%	81,2%	94,9%
25	Flevoland	100,0%	96,1%	99,6%	99,6%	94,4%	98,1%
	Gemiddelde	100,0%	97,7%	97,6%	99,4%	93,5%	96,7%

Tabel A.3: Criterium (2) 2x gedekt

RAVnr	RAV naam	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	56,8%	96,1%	68,1%	90,3%	96,2%	81,9%
2	Friesland	54,5%	94,8%	66,6%	92,9%	97,5%	72,1%
3	Drenthe	40,2%	86,4%	47,2%	81,4%	89,9%	63,4%
4	IJsselnd	55,3%	96,7%	55,8%	89,3%	97,2%	73,6%
5	Twente	75,9%	100,0%	80,7%	99,2%	100,0%	85,4%
6	Noordoost Gelderland	51,8%	89,9%	57,3%	83,9%	93,1%	69,2%
7	Gelderland Midden	38,1%	89,1%	71,8%	83,4%	76,9%	84,5%
8	Gelderland Zuid	49,9%	98,6%	66,1%	95,0%	98,6%	82,7%
9	Utrecht	40,6%	99,4%	74,9%	96,4%	92,1%	84,3%
10	Noord-Holland Noord	51,4%	95,3%	69,5%	92,4%	96,0%	73,6%
11	Amsterdam/Waterland	98,4%	100,0%	98,9%	100,0%	99,8%	98,7%
12	Kennemerland	57,7%	100,0%	90,1%	99,7%	100,0%	98,0%
14	Gooi- en Vechtstreek	30,9%	100,0%	85,0%	96,4%	96,4%	91,3%
15	Haaglanden	79,5%	100,0%	91,2%	100,0%	99,2%	98,2%
16	Hollands Midden	58,2%	97,3%	82,3%	91,0%	85,8%	84,8%
17	Rotterdam-Rijnmond	70,8%	96,9%	81,3%	91,7%	88,1%	88,1%
18	Zuid-Holland Zuid	57,8%	98,4%	77,5%	97,2%	98,5%	88,2%
19	Zeeland	80,9%	98,4%	73,2%	93,5%	98,4%	88,2%
20	Midden West Brabant	58,2%	97,7%	78,4%	93,7%	89,8%	85,7%
21	Brabant Noord	69,8%	94,4%	79,9%	91,6%	82,8%	84,3%
22	Zuidoost Brabant	62,4%	95,3%	81,7%	91,9%	87,7%	85,1%
23	Limburg Noord	63,5%	83,9%	61,0%	71,0%	90,8%	78,9%
24	Zuid Limburg	85,0%	97,9%	85,2%	96,0%	79,5%	94,8%
25	Flevoland	14,6%	90,3%	67,8%	88,4%	94,4%	66,6%
	Gemiddelde	58,4%	95,7%	74,6%	91,9%	92,9%	83,4%

Tabel A.4: Criterium (3) 3x gedekt

RAVnr	RAV naam	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	26,1%	22,4%	45,7%	58,2%	24,7%	51,6%
2	Friesland	18,1%	20,6%	36,2%	41,0%	27,8%	34,3%
3	Drenthe	1,5%	3,5%	7,0%	28,1%	10,3%	9,0%
4	IJsselland	6,6%	6,0%	32,2%	39,2%	17,6%	20,3%
5	Twente	47,0%	55,3%	58,0%	78,5%	54,9%	73,8%
6	Noordoost Gelderland	6,8%	5,3%	8,8%	29,2%	4,8%	27,5%
7	Gelderland Midden	4,4%	24,8%	27,2%	45,8%	74,7%	45,1%
8	Gelderland Zuid	7,2%	29,0%	48,0%	59,6%	16,6%	62,5%
9	Utrecht	13,8%	55,3%	49,0%	75,6%	92,1%	70,2%
10	Noord-Holland Noord	30,4%	17,7%	30,7%	48,6%	43,7%	50,4%
11	Amsterdam/Waterland	60,1%	74,7%	81,2%	99,1%	99,8%	88,2%
12	Kennemerland	29,5%	46,7%	63,7%	95,3%	95,4%	71,9%
14	Gooi- en Vechtstreek	11,4%	23,1%	59,0%	96,4%	96,4%	83,5%
15	Haaglanden	70,4%	80,3%	87,4%	99,1%	99,2%	94,9%
16	Hollands Midden	17,0%	20,7%	55,8%	65,4%	85,4%	59,7%
17	Rotterdam-Rijnmond	40,9%	49,7%	72,7%	81,6%	88,1%	75,5%
18	Zuid-Holland Zuid	36,3%	44,5%	57,5%	73,1%	39,4%	60,2%
19	Zeeland	10,8%	8,9%	48,8%	49,3%	10,3%	49,9%
20	Midden West Brabant	30,0%	31,4%	50,9%	75,1%	89,8%	70,2%
21	Brabant Noord	38,4%	15,6%	44,2%	47,9%	82,8%	54,7%
22	Zuidoost Brabant	7,6%	55,0%	64,5%	63,4%	87,7%	76,7%
23	Limburg Noord	13,3%	19,6%	11,5%	29,8%	16,7%	13,0%
24	Zuid Limburg	24,3%	22,3%	42,7%	48,0%	79,5%	50,9%
25	Flevoland	8,8%	0,2%	47,2%	11,1%		48,0%
	Gemiddelde	23,4%	30,5%	47,1%	59,9%	58,2%	55,9%

Tabel A.5: Criterium (4) binnen 8 min

RAVnr	RAV naam	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	17,4%	13,3%	60,2%	25,0%	12,2%	59,2%
2	Friesland	23,7%	19,4%	50,9%	34,1%	23,7%	51,0%
3	Drenthe	23,3%	16,7%	52,5%	27,1%	7,9%	52,6%
4	IJsselland	24,5%	22,3%	61,1%	35,3%	26,1%	61,1%
5	Twente	21,2%	33,9%	60,3%	23,7%	31,5%	58,3%
6	Noordoost Gelderland	26,7%	24,5%	45,3%	26,3%	18,1%	46,9%
7	Gelderland Midden	17,4%	40,2%	52,0%	39,2%	26,6%	52,3%
8	Gelderland Zuid	28,8%	15,2%	60,6%	35,3%	11,0%	56,5%
9	Utrecht	26,5%	35,7%	51,3%	38,8%	17,1%	52,2%
10	Noord-Holland Noord	17,2%	15,7%	56,4%	30,0%	26,3%	56,9%
11	Amsterdam/Waterland	18,9%	33,9%	68,6%	47,0%	14,2%	68,1%
12	Kennemerland	23,8%	25,2%	75,8%	41,3%	40,2%	70,9%
14	Gooi- en Vechtstreek	28,5%	21,0%	62,7%	38,3%	20,2%	68,1%
15	Haaglanden	24,5%	35,9%	75,4%	47,6%	14,6%	76,0%
16	Hollands Midden	26,7%	34,6%	54,2%	45,9%	31,6%	53,0%
17	Rotterdam-Rijnmond	24,9%	33,0%	63,3%	46,3%	25,1%	58,9%
18	Zuid-Holland Zuid	21,0%	25,1%	53,0%	36,9%	35,6%	53,1%
19	Zeeland	23,0%	33,1%	55,8%	33,6%	31,1%	55,8%
20	Midden West Brabant	23,3%	13,8%	50,4%	31,9%	20,4%	53,2%
21	Brabant Noord	10,5%	23,1%	39,4%	32,8%	11,2%	40,2%
22	Zuidoost Brabant	20,3%	33,5%	47,4%	29,8%	17,1%	46,4%
23	Limburg Noord	27,4%	23,2%	42,6%	27,4%	21,8%	43,6%
24	Zuid Limburg	18,1%	20,6%	39,0%	28,6%	15,9%	35,0%
25	Flevoland	57,8%	27,3%	81,8%	31,0%	43,7%	78,4%
	Gemiddelde	24,0%	25,9%	56,7%	34,7%	22,6%	56,1%

Tabel A.6: Criterium (5) binnen 20 min

RAVnr	RAV naam	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	99,9%	99,9%
2	Friesland	100,0%	100,0%	99,9%	99,7%	98,4%	100,0%
3	Drenthe	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%
4	IJsselland	100,0%	100,0%	99,8%	100,0%	100,0%	99,8%
5	Twente	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
6	Noordoost Gelderland	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
7	Gelderland Midden	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	95,5%	99,9%
8	Gelderland Zuid	100,0%	100,0%	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%
9	Utrecht	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	99,8%	100,0%
10	Noord-Holland Noord	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	97,9%	98,6%
11	Amsterdam/Waterland	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	99,8%	99,9%
12	Kennemerland	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
14	Gooi- en Vechtstreek	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
15	Haaglanden	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
16	Hollands Midden	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	96,3%	100,0%
17	Rotterdam-Rijnmond	100,0%	100,0%	99,3%	99,3%	94,9%	99,3%
18	Zuid-Holland Zuid	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	98,9%	100,0%
19	Zeeland	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
20	Midden West Brabant	100,0%	100,0%	99,4%	99,8%	98,3%	99,1%
21	Brabant Noord	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	92,7%	100,0%
22	Zuidoost Brabant	100,0%	100,0%	99,5%	100,0%	97,0%	99,5%
23	Limburg Noord	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	95,6%	100,0%
24	Zuid Limburg	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	97,0%	99,8%
25	Flevoland	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	94,8%	100,0%
	Gemiddelde	100,0%	100,0%	99,9%	99,9%	98,2%	99,8%

Tabel A.7: Criterium (6) betrouwbaarheid

RAVnr	RAV naam	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	91,3%	94,7%	91,8%	96,7%	94,2%	93,6%
2	Friesland	95,0%	95,7%	92,8%	98,3%	96,8%	93,1%
3	Drenthe	88,4%	91,1%	88,1%	94,3%	87,9%	88,7%
4	IJsselland	91,6%	94,4%	89,0%	96,5%	95,2%	91,1%
5	Twente	93,9%	97,9%	94,8%	98,7%	97,9%	95,6%
6	Noordoost Gelderland	88,0%	90,4%	86,3%	93,1%	89,3%	87,8%
7	Gelderland Midden	81,0%	88,5%	85,9%	90,8%	77,3%	89,1%
8	Gelderland Zuid	88,1%	95,8%	89,7%	97,1%	95,3%	93,2%
9	Utrecht	79,6%	94,7%	88,7%	95,5%	89,9%	91,3%
10	Noord-Holland Noord	88,0%	93,2%	89,9%	95,7%	93,8%	88,2%
11	Amsterdam/Waterland	93,0%	95,8%	96,0%	99,1%	98,6%	96,5%
12	Kennemerland	83,5%	94,6%	94,1%	98,2%	97,6%	96,3%
14	Gooi- en Vechtstreek	82,6%	95,7%	94,7%	98,7%	98,5%	92,9%
15	Haaglanden	90,2%	96,1%	95,3%	99,0%	97,6%	97,4%
16	Hollands Midden	83,5%	90,5%	89,6%	93,4%	86,5%	90,5%
17	Rotterdam-Rijnmond	78,3%	86,0%	86,7%	90,9%	86,1%	88,4%
18	Zuid-Holland Zuid	89,4%	95,6%	90,7%	96,3%	95,8%	92,6%
19	Zeeland	97,7%	97,7%	93,2%	99,0%	97,7%	94,4%
20	Midden West Brabant	86,7%	92,9%	89,9%	95,2%	90,9%	90,9%
21	Brabant Noord	89,5%	90,5%	91,3%	93,7%	81,5%	93,0%
22	Zuidoost Brabant	85,0%	92,4%	86,8%	93,3%	86,0%	88,2%
23	Limburg Noord	89,5%	90,2%	86,7%	91,3%	87,3%	89,1%
24	Zuid Limburg	86,1%	87,8%	86,6%	90,7%	78,0%	87,7%
25	Flevoland	82,4%	91,2%	91,9%	94,1%	90,5%	90,5%
	Gemiddelde	87,6%	93,1%	90,4%	95,4%	91,3%	91,7%

Tabel A.8: Criterium (7) max. aanrijtijd (min)

RAVnr	RAV naam	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	12,0	16,0	19,5	17,2	19,5	19,5
2	Friesland	17,0	16,6	18,4	395,4	423,2	18,4
3	Drenthe	11,9	16,1	18,2	18,2	18,2	18,2
4	IJsselland	12,0	16,3	20,6	14,5	17,6	20,6
5	Twente	11,6	14,5	16,8	11,8	14,5	16,8
6	Noordoost Gelderland	12,0	16,9	14,7	15,4	17,2	18,6
7	Gelderland Midden	15,8	16,9	16,0	17,7	21,6	17,0
8	Gelderland Zuid	12,0	15,4	17,4	14,0	15,7	15,5
9	Utrecht	11,9	15,0	17,0	18,0	18,0	17,0
10	Noord-Holland Noord	11,9	15,2	15,9	12,5	84,5	21,0
11	Amsterdam/Waterland	12,0	11,7	19,3	16,7	18,5	19,3
12	Kennemerland	11,1	12,0	14,7	12,9	12,2	15,0
14	Gooi- en Vechtstreek	11,7	12,0	12,0	12,0	11,8	14,4
15	Haaglanden	11,2	11,4	11,6	9,3	13,8	13,0
16	Hollands Midden	11,5	16,6	17,5	13,8	20,7	17,3
17	Rotterdam-Rijnmond	11,9	16,4	21,3	21,3	36,3	21,3
18	Zuid-Holland Zuid	12,0	16,6	13,7	16,6	18,3	13,7
19	Zeeland	11,8	14,1	15,2	11,9	15,9	15,2
20	Midden West Brabant	11,8	16,6	26,3	20,9	29,6	26,3
21	Brabant Noord	11,9	14,3	13,0	13,3	32,1	13,3
22	Zuidoost Brabant	11,9	15,3	19,7	15,3	24,6	19,7
23	Limburg Noord	13,5	16,4	13,9	13,5	27,6	14,2
24	Zuid Limburg	11,8	13,8	16,3	14,6	18,3	17,6
25	Flevoland	11,8	14,9	14,9	14,9	22,4	14,9
	Gemiddelde	12,3	15,0	16,8	30,9	39,7	17,4

Tabel A.9: Criterium (8) gem. aanrijtijd (min)

RAVnr	RAV naam	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	7,3	7,8	4,7	6,5	7,9	4,7
2	Friesland	7,3	7,3	5,5	7,4	11,7	5,6
3	Drenthe	6,9	7,9	5,0	6,6	9,0	5,1
4	IJsselland	6,8	7,5	4,5	6,3	7,2	4,5
5	Twente	6,9	6,5	4,7	6,5	6,3	4,7
6	Noordoost Gelderland	6,9	7,3	5,6	6,9	7,9	5,8
7	Gelderland Midden	7,4	5,9	5,2	6,0	8,0	5,3
8	Gelderland Zuid	6,7	7,3	4,5	5,9	7,8	4,6
9	Utrecht	6,7	6,3	5,2	5,9	8,4	5,2
10	Noord-Holland Noord	7,0	7,7	5,1	6,5	8,0	5,2
11	Amsterdam/Waterland	7,2	6,0	4,1	5,2	7,6	4,2
12	Kennemerland	6,6	6,9	3,8	5,7	5,7	3,9
14	Gooi- en Vechtstreek	7,1	7,1	4,5	6,0	6,3	4,6
15	Haaglanden	6,7	5,8	3,8	5,0	7,6	3,9
16	Hollands Midden	6,3	6,6	4,8	5,7	7,1	5,0
17	Rotterdam-Rijnmond	6,8	6,8	4,7	5,8	8,7	4,8
18	Zuid-Holland Zuid	6,9	6,8	5,0	5,7	6,4	5,1
19	Zeeland	6,9	6,3	4,9	6,3	6,3	4,9
20	Midden West Brabant	7,0	7,9	5,2	6,3	8,0	5,3
21	Brabant Noord	7,4	7,1	5,8	6,2	9,6	5,8
22	Zuidoost Brabant	7,3	6,6	6,0	6,7	8,6	6,1
23	Limburg Noord	7,1	7,1	6,0	7,1	7,9	6,0
24	Zuid Limburg	7,2	7,3	6,0	6,4	8,6	6,3
25	Flevoland	5,0	6,7	4,0	6,0	6,1	4,0
	Gemiddelde	6,9	6,9	4,9	6,2	7,8	5,0

Tabel A.10: Criterium (9) 95% binnen .. min

RAVnr	RAV naam	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	11,0	11,3	10,6	10,4	11,4	10,8
2	Friesland	11,3	11,7	11,6	10,9	11,2	11,6
3	Drenthe	11,4	11,9	10,9	10,9	14,1	11,3
4	IJsselland	10,4	11,8	10,8	10,4	11,6	10,8
5	Twente	11,3	10,9	9,8	10,0	10,5	10,4
6	Noordoost Gelderland	11,2	12,0	12,0	11,7	12,9	12,0
7	Gelderland Midden	11,0	11,7	10,8	10,9	15,9	12,0
8	Gelderland Zuid	10,3	11,5	10,2	11,2	11,4	10,2
9	Utrecht	10,7	11,5	10,3	10,1	13,0	10,1
10	Noord-Holland Noord	10,8	11,7	10,7	10,7	11,3	12,8
11	Amsterdam/Waterland	10,3	10,5	9,0	9,5	11,2	9,5
12	Kennemerland	10,5	11,3	9,0	10,9	10,0	8,7
14	Gooi- en Vechtstreek	11,0	11,3	11,3	11,1	10,7	12,8
15	Haaglanden	10,4	9,6	8,0	8,9	11,1	8,2
16	Hollands Midden	9,9	11,5	10,2	10,8	14,9	10,2
17	Rotterdam-Rijnmond	11,0	11,6	10,4	11,5	18,6	10,6
18	Zuid-Holland Zuid	10,7	11,6	10,7	10,6	11,3	10,7
19	Zeeland	11,2	11,2	11,5	11,1	11,1	11,5
20	Midden West Brabant	11,2	11,8	10,7	11,3	14,7	11,8
21	Brabant Noord	10,8	11,6	10,7	11,0	22,0	10,7
22	Zuidoost Brabant	11,7	11,9	13,1	11,4	14,3	13,1
23	Limburg Noord	11,4	11,9	11,4	11,4	15,1	11,8
24	Zuid Limburg	11,0	11,7	11,1	10,6	15,6	12,3
25	Flevoland	10,3	11,4	9,8	9,8	18,5	9,8
	Gemiddelde	10,9	11,4	10,6	10,7	13,4	11,0

Tabel A.11: Criterium (10) ATTM3 doelfunctie (min)

RAVnr	RAV naam	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	8,2	8,1	5,6	7,0	8,2	5,5
2	Friesland	7,8	7,8	6,4	8,0	11,8	6,0
3	Drenthe	8,0	8,4	6,3	7,4	9,3	6,2
4	IJsselland	7,7	7,8	5,7	6,9	7,5	5,4
5	Twente	7,5	6,9	5,7	6,9	6,9	5,4
6	Noordoost Gelderland	8,1	8,0	7,0	7,7	8,4	6,8
7	Gelderland Midden	9,0	7,1	6,7	7,0	8,4	6,4
8	Gelderland Zuid	7,9	7,5	5,8	6,4	8,1	5,5
9	Utrecht	8,7	7,0	6,6	6,8	8,4	6,2
10	Noord-Holland Noord	8,5	8,4	6,6	7,5	8,7	6,4
11	Amsterdam/Waterland	7,9	6,5	5,0	5,7	7,6	4,9
12	Kennemerland	8,2	7,5	5,3	6,0	6,4	5,0
14	Gooi- en Vechtstreek	8,6	7,6	5,4	6,5	6,7	5,3
15	Haaglanden	7,8	6,1	5,0	5,8	7,6	4,6
16	Hollands Midden	8,2	7,6	6,4	6,8	7,7	6,3
17	Rotterdam-Rijnmond	9,0	8,0	7,0	7,1	8,7	6,7
18	Zuid-Holland Zuid	7,9	7,4	6,1	6,4	7,1	5,9
19	Zeeland	7,1	6,4	5,3	6,4	6,4	5,1
20	Midden West Brabant	8,3	8,4	6,5	7,1	8,2	6,3
21	Brabant Noord	8,4	7,9	6,9	7,1	9,6	6,8
22	Zuidoost Brabant	8,8	7,4	7,0	7,5	8,6	6,8
23	Limburg Noord	8,0	7,7	7,1	7,9	8,3	6,9
24	Zuid Limburg	8,4	8,4	7,3	7,4	8,8	7,1
25	Flevoland	7,4	7,3	5,3	6,7	6,7	5,3
	Gemiddelde	8,1	7,6	6,2	6,9	8,1	6,0

Tabel A.12: Criterium (11) oplostijd (sec)

RAVnr	RAV naam	MCLP	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	0,37	3,20	100,75	0,81	3,82	144,64
2	Friesland	0,58	26,86	291,97	396,98	1,53	1929,95
3	Drenthe	0,06	0,78	3,79	0,17	0,45	12,79
4	IJsselland	0,13	0,17	26,11	0,34	0,03	111,67
5	Twente	0,02	0,16	3,71	0,17	0,14	17,33
6	Noordoost Gelderland	0,14	0,50	42,31	0,06	0,03	150,23
7	Gelderland Midden	0,16	0,47	5,97	0,13	1,40	115,63
8	Gelderland Zuid	0,02	0,05	1,11	0,05	0,01	4,27
9	Utrecht	0,14	0,26	40,26	4,03	0,70	97,25
10	Noord-Holland Noord	0,03	0,28	11,48	0,17	1,34	38,06
11	Amsterdam/Waterland	0,06	0,09	9,66	0,25	0,03	61,26
12	Kennemerland	0,02	0,05	19,88	0,03	0,09	55,86
14	Gooi- en Vechtstreek	0,01	0,00	0,26	0,02	0,01	0,67
15	Haaglanden	0,03	0,06	9,75	0,31	0,03	37,97
16	Hollands Midden	0,00	0,11	0,80	0,03	0,67	1,90
17	Rotterdam-Rijnmond	0,03	0,11	48,59	0,06	0,05	176,38
18	Zuid-Holland Zuid	0,05	0,05	1,84	0,09	0,01	5,83
19	Zeeland	0,03	0,05	3,00	0,55	0,02	13,34
20	Midden West Brabant	0,06	2,11	16,54	5,43	3,28	106,28
21	Brabant Noord	0,03	0,87	7,43	0,34	0,03	17,32
22	Zuidoost Brabant	0,06	0,30	10,62	0,03	0,03	251,88
23	Limburg Noord	0,05	2,17	4,84	1,08	0,02	14,63
24	Zuid Limburg	0,06	1,19	9,28	0,45	1,61	58,94
25	Flevoland	0,03	0,25	1,39	0,03	0,06	4,99
	Gemiddelde	0,09	1,67	27,97	17,15	0,64	142,88

B

VERGELIJKING MCLP STANDPLAATSEN: RESULTATEN PER RAV

Tabel B.1: Doelfuncties (met MCLP standplaatsen)

RAVnr	RAV naam	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	79,5%	6,9	94,1%	89,2%	7,6
2	Friesland	85,9%	7,3	97,8%	96,2%	7,7
3	Drenthe	50,6%	6,9	90,0%	79,3%	7,8
4	IJsselland	82,5%	7,1	94,4%	93,6%	7,7
5	Twente	84,7%	6,2	94,1%	91,0%	6,9
6	Noordoost Gelderland	63,2%	6,9	88,6%	80,1%	8,0
7	Gelderland Midden	66,1%	7,0	86,6%	58,5%	8,4
8	Gelderland Zuid	84,5%	6,0	92,5%	91,8%	6,9
9	Utrecht	96,6%	6,7	93,1%	89,4%	7,6
10	Noord-Holland Noord	85,4%	6,8	92,8%	91,8%	7,9
11	Amsterdam/Waterland	100,0%	7,1	96,5%	91,2%	7,4
12	Kennemerland	88,1%	6,3	91,5%	79,6%	7,1
14	Gooi- en Vechtstreek	49,3%	7,1	85,8%	47,6%	8,3
15	Haaglanden	100,0%	6,4	96,7%	93,5%	6,7
16	Hollands Midden	81,0%	6,3	88,9%	77,0%	7,7
17	Rotterdam-Rijnmond	85,1%	7,3	82,7%	75,7%	8,9
18	Zuid-Holland Zuid	85,3%	6,9	94,6%	98,1%	7,6
19	Zeeland	98,0%	6,5	98,8%	98,0%	6,7
20	Midden West Brabant	78,7%	7,2	89,3%	73,9%	8,3
21	Brabant Noord	78,2%	7,0	89,3%	70,6%	8,1
22	Zuidoost Brabant	69,2%	7,3	88,6%	81,6%	8,3
23	Limburg Noord	71,0%	7,1	91,2%	87,0%	7,9
24	Zuid Limburg	86,9%	7,4	86,2%	68,9%	8,5
25	Flevoland	87,1%	5,0	93,6%	94,2%	6,0
	Gemiddelde	80,7%	6,8	91,6%	83,3%	7,7

Tabel B.2: Criterium (1) 1x gedekt (met MCLP standplaatsen)

RAVnr	RAV naam	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	96,2%	100,0%	99,4%	94,0%	99,6%
2	Friesland	98,7%	99,8%	99,5%	96,2%	99,8%
3	Drenthe	97,3%	100,0%	99,5%	85,0%	99,5%
4	IJsselland	98,0%	100,0%	99,8%	93,6%	99,8%
5	Twente	98,8%	100,0%	98,8%	95,6%	100,0%
6	Noordoost Gelderland	95,2%	100,0%	100,0%	80,1%	100,0%
7	Gelderland Midden	98,3%	100,0%	98,3%	75,2%	98,3%
8	Gelderland Zuid	96,2%	97,9%	98,8%	91,8%	97,9%
9	Utrecht	98,1%	100,0%	98,9%	89,4%	100,0%
10	Noord-Holland Noord	98,3%	100,0%	99,0%	96,1%	99,0%
11	Amsterdam/Waterland	100,0%	100,0%	99,7%	91,2%	99,7%
12	Kennemerland	98,4%	100,0%	100,0%	87,7%	94,5%
14	Gooi- en Vechtstreek	100,0%	100,0%	100,0%	80,6%	100,0%
15	Haaglanden	100,0%	100,0%	100,0%	93,5%	100,0%
16	Hollands Midden	96,8%	100,0%	98,1%	85,4%	99,3%
17	Rotterdam-Rijnmond	99,5%	100,0%	96,1%	75,7%	98,6%
18	Zuid-Holland Zuid	95,7%	100,0%	98,1%	98,1%	98,9%
19	Zeeland	98,0%	100,0%	100,0%	98,0%	100,0%
20	Midden West Brabant	96,2%	100,0%	98,8%	80,4%	98,8%
21	Brabant Noord	97,0%	100,0%	100,0%	70,6%	100,0%
22	Zuidoost Brabant	100,0%	100,0%	100,0%	81,6%	100,0%
23	Limburg Noord	99,6%	99,6%	99,6%	87,0%	99,6%
24	Zuid Limburg	100,0%	100,0%	100,0%	86,9%	100,0%
25	Flevoland	99,6%	100,0%	99,6%	94,2%	99,6%
	Gemiddelde	98,2%	99,9%	99,3%	87,8%	99,3%

Tabel B.3: Criterium (2) 2x gedekt (met MCLP standplaatsen)

RAVnr	RAV naam	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	79,5%	60,9%	77,6%	89,2%	70,0%
2	Friesland	85,9%	39,4%	88,5%	96,2%	70,0%
3	Drenthe	50,6%	40,2%	51,0%	79,3%	52,8%
4	IJsselland	82,5%	38,9%	74,8%	93,6%	74,8%
5	Twente	84,7%	59,8%	84,7%	91,0%	74,0%
6	Noordoost Gelderland	63,2%	50,3%	55,1%	80,1%	54,2%
7	Gelderland Midden	66,1%	46,9%	65,4%	75,2%	65,4%
8	Gelderland Zuid	84,5%	77,1%	76,9%	91,8%	77,1%
9	Utrecht	96,6%	55,0%	93,3%	89,4%	91,1%
10	Noord-Holland Noord	85,4%	53,2%	82,4%	91,8%	78,8%
11	Amsterdam/Waterland	100,0%	79,0%	99,3%	91,2%	99,3%
12	Kennemerland	88,1%	63,9%	86,1%	87,7%	87,3%
14	Gooi- en Vechtstreek	49,3%	30,9%	49,3%	47,6%	49,3%
15	Haaglanden	100,0%	70,6%	100,0%	93,5%	100,0%
16	Hollands Midden	81,0%	58,2%	80,6%	77,0%	76,2%
17	Rotterdam-Rijnmond	85,1%	25,5%	84,6%	75,7%	75,7%
18	Zuid-Holland Zuid	85,3%	61,2%	98,1%	98,1%	93,8%
19	Zeeland	98,0%	31,3%	93,4%	98,0%	91,7%
20	Midden West Brabant	78,7%	46,5%	77,8%	73,9%	67,6%
21	Brabant Noord	78,2%	44,2%	72,5%	70,6%	72,5%
22	Zuidoost Brabant	69,2%	52,5%	69,2%	81,6%	69,2%
23	Limburg Noord	71,0%	43,5%	71,0%	87,0%	71,0%
24	Zuid Limburg	86,9%	38,6%	86,9%	68,9%	68,9%
25	Flevoland	87,1%	19,5%	87,1%	94,2%	87,1%
	Gemiddelde	80,7%	49,5%	79,4%	84,3%	75,7%

Tabel B.4: Criterium (3) 3x gedekt (met MCLP standplaatsen)

RAVnr	RAV naam	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	38,4%	10,3%	38,0%	37,2%	39,9%
2	Friesland	25,8%	8,5%	27,6%	30,7%	22,7%
3	Drenthe	10,6%	1,5%	21,9%	17,6%	10,4%
4	IJsselland	23,6%	7,5%	22,2%	10,7%	22,2%
5	Twente	39,5%	39,8%	39,5%	37,3%	48,1%
6	Noordoost Gelderland	8,5%	19,3%	9,1%	6,5%	11,6%
7	Gelderland Midden	21,5%	17,6%	31,9%	58,5%	31,9%
8	Gelderland Zuid	47,5%	36,4%	38,2%	11,6%	36,4%
9	Utrecht	34,5%	33,5%	54,1%	89,4%	39,6%
10	Noord-Holland Noord	26,5%	19,6%	37,3%	26,5%	23,5%
11	Amsterdam/Waterland	50,7%	51,8%	99,3%	91,2%	99,3%
12	Kennemerland	41,2%	56,1%	49,0%	79,6%	61,7%
14	Gooi- en Vechtstreek	9,8%	11,4%	9,8%	47,6%	9,8%
15	Haaglanden	68,5%	64,4%	93,5%	93,5%	93,5%
16	Hollands Midden	38,7%	17,0%	48,4%	77,0%	43,4%
17	Rotterdam-Rijnmond	21,0%	3,9%	65,5%	75,7%	65,5%
18	Zuid-Holland Zuid	19,9%	52,0%	24,7%	24,7%	24,7%
19	Zeeland	11,1%	15,3%	11,1%	11,1%	15,3%
20	Midden West Brabant	25,4%	22,7%	26,6%	73,9%	37,4%
21	Brabant Noord	24,8%	18,4%	23,6%	70,6%	23,6%
22	Zuidoost Brabant	38,1%	45,6%	38,1%	81,6%	38,1%
23	Limburg Noord	27,1%	21,7%	27,1%	20,7%	27,1%
24	Zuid Limburg	20,6%	28,3%	20,6%	68,9%	49,4%
25	Flevoland	1,6%	16,3%	1,6%	1,6%	1,6%
	Gemiddelde	28,1%	25,8%	35,8%	47,7%	36,5%

Tabel B.5: Criterium (4) binnen 8 min (met MCLP standplaatsen)

RAVnr	RAV naam	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	21,1%	22,0%	21,3%	20,0%	21,7%
2	Friesland	22,1%	22,4%	22,1%	15,2%	22,4%
3	Drenthe	22,4%	23,3%	22,9%	17,9%	22,9%
4	IJsselland	25,9%	26,6%	26,2%	21,3%	26,2%
5	Twente	21,9%	27,0%	21,9%	20,8%	27,0%
6	Noordoost Gelderland	21,3%	22,2%	22,2%	10,1%	22,2%
7	Gelderland Midden	19,0%	19,6%	19,0%	9,4%	19,0%
8	Gelderland Zuid	30,0%	37,0%	33,7%	23,1%	37,0%
9	Utrecht	23,0%	27,0%	24,1%	19,1%	27,0%
10	Noord-Holland Noord	17,6%	24,2%	23,2%	16,2%	23,2%
11	Amsterdam/Waterland	16,5%	19,9%	17,1%	10,6%	19,8%
12	Kennemerland	23,8%	29,8%	29,8%	29,0%	29,8%
14	Gooi- en Vechtstreek	28,5%	28,5%	28,5%	21,9%	28,5%
15	Haaglanden	27,5%	27,5%	23,7%	21,7%	26,5%
16	Hollands Midden	21,3%	26,7%	23,2%	15,9%	24,1%
17	Rotterdam-Rijnmond	19,6%	20,0%	18,5%	11,0%	19,1%
18	Zuid-Holland Zuid	24,2%	26,2%	24,4%	24,4%	25,1%
19	Zeeland	27,3%	31,9%	31,9%	27,3%	31,9%
20	Midden West Brabant	19,3%	22,2%	21,7%	14,6%	21,7%
21	Brabant Noord	22,4%	23,8%	23,8%	15,1%	23,8%
22	Zuidoost Brabant	18,1%	18,1%	18,1%	13,7%	18,1%
23	Limburg Noord	26,0%	26,0%	26,0%	20,0%	26,0%
24	Zuid Limburg	17,0%	17,0%	17,0%	14,9%	17,0%
25	Flevoland	52,8%	53,6%	52,8%	49,3%	52,8%
	Gemiddelde	23,7%	25,9%	24,7%	19,3%	25,5%

Tabel B.6: Criterium (5) binnen 20 min (met MCLP standplaatsen)

RAVnr	RAV naam	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	100,0%	100,0%	100,0%	98,3%	100,0%
2	Friesland	100,0%	100,0%	99,7%	98,0%	100,0%
3	Drenthe	100,0%	100,0%	100,0%	95,4%	100,0%
4	IJsselland	100,0%	100,0%	100,0%	99,5%	100,0%
5	Twente	100,0%	100,0%	100,0%	99,6%	100,0%
6	Noordoost Gelderland	100,0%	100,0%	100,0%	97,5%	100,0%
7	Gelderland Midden	100,0%	100,0%	100,0%	93,9%	100,0%
8	Gelderland Zuid	100,0%	100,0%	100,0%	97,7%	100,0%
9	Utrecht	100,0%	100,0%	100,0%	95,6%	100,0%
10	Noord-Holland Noord	100,0%	100,0%	100,0%	97,9%	100,0%
11	Amsterdam/Waterland	100,0%	100,0%	100,0%	97,1%	100,0%
12	Kennemerland	100,0%	100,0%	100,0%	99,5%	100,0%
14	Gooi- en Vechtstreek	100,0%	100,0%	100,0%	96,3%	100,0%
15	Haaglanden	100,0%	100,0%	100,0%	99,4%	100,0%
16	Hollands Midden	100,0%	100,0%	99,8%	97,7%	100,0%
17	Rotterdam-Rijnmond	100,0%	100,0%	96,4%	92,2%	99,6%
18	Zuid-Holland Zuid	100,0%	100,0%	98,5%	98,5%	98,9%
19	Zeeland	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
20	Midden West Brabant	100,0%	100,0%	99,5%	96,8%	99,5%
21	Brabant Noord	100,0%	100,0%	100,0%	89,3%	100,0%
22	Zuidoost Brabant	100,0%	100,0%	100,0%	91,3%	100,0%
23	Limburg Noord	100,0%	100,0%	100,0%	92,9%	100,0%
24	Zuid Limburg	100,0%	100,0%	100,0%	98,0%	100,0%
25	Flevoland	100,0%	100,0%	100,0%	96,2%	100,0%
	Gemiddelde	100,0%	100,0%	99,7%	96,6%	99,9%

Tabel B.7: Criterium (6) betrouwbaarheid (met MCLP standplaatsen)

RAVnr	RAV naam	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	91,8%	91,4%	94,1%	91,5%	93,2%
2	Friesland	96,8%	93,5%	97,8%	95,5%	96,4%
3	Drenthe	87,9%	88,4%	90,0%	82,2%	90,0%
4	IJsselland	94,0%	89,5%	94,4%	91,5%	94,4%
5	Twente	94,1%	91,0%	94,1%	92,4%	93,6%
6	Noordoost Gelderland	86,1%	88,2%	88,6%	76,9%	88,6%
7	Gelderland Midden	86,3%	83,4%	86,6%	73,1%	86,6%
8	Gelderland Zuid	92,0%	91,8%	92,5%	88,6%	91,8%
9	Utrecht	91,9%	84,1%	93,1%	87,8%	92,3%
10	Noord-Holland Noord	92,4%	88,0%	92,8%	91,9%	91,6%
11	Amsterdam/Waterland	92,0%	86,8%	96,5%	89,7%	96,3%
12	Kennemerland	90,4%	87,8%	91,5%	85,9%	89,1%
14	Gooi- en Vechtstreek	85,8%	82,6%	85,8%	72,2%	85,8%
15	Haaglanden	94,4%	86,7%	96,7%	92,1%	96,6%
16	Hollands Midden	87,5%	83,5%	88,9%	81,1%	88,5%
17	Rotterdam-Rijnmond	79,3%	62,1%	82,7%	73,0%	81,7%
18	Zuid-Holland Zuid	90,3%	90,8%	94,6%	94,6%	94,4%
19	Zeeland	97,3%	93,8%	98,8%	97,3%	98,7%
20	Midden West Brabant	87,5%	84,0%	89,3%	77,6%	87,8%
21	Brabant Noord	88,3%	83,7%	89,3%	69,4%	89,3%
22	Zuidoost Brabant	88,6%	85,6%	88,6%	80,5%	88,6%
23	Limburg Noord	91,2%	86,6%	91,2%	83,9%	91,2%
24	Zuid Limburg	86,2%	76,4%	86,2%	77,6%	84,3%
25	Flevoland	93,6%	83,5%	93,6%	90,4%	93,6%
	Gemiddelde	90,2%	86,0%	91,6%	84,9%	91,0%

Tabel B.8: Criterium (7) max. aanrijtijd (met MCLP standplaatsen) (min)

RAVnr	RAV naam	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	16,4	12,0	18,1	19,5	18,1
2	Friesland	17,0	16,2	395,4	425,1	16,2
3	Drenthe	14,3	11,9	18,2	22,6	18,2
4	IJsselland	15,7	12,0	15,3	17,9	15,3
5	Twente	15,4	11,8	15,4	23,3	11,8
6	Noordoost Gelderland	16,3	12,0	12,0	20,0	12,0
7	Gelderland Midden	16,9	15,8	16,9	23,3	16,9
8	Gelderland Zuid	16,4	16,4	14,5	20,7	16,4
9	Utrecht	16,4	11,9	15,0	25,1	11,9
10	Noord-Holland Noord	13,4	11,9	13,4	84,5	13,4
11	Amsterdam/Waterland	11,9	11,8	16,7	24,5	16,7
12	Kennemerland	13,5	11,6	11,6	20,7	18,5
14	Gooi- en Vechtstreek	11,7	11,7	11,7	18,4	11,7
15	Haaglanden	11,5	11,5	11,5	18,1	11,5
16	Hollands Midden	14,4	11,5	19,6	19,8	14,2
17	Rotterdam-Rijnmond	15,9	11,7	30,7	38,9	24,6
18	Zuid-Holland Zuid	13,5	11,9	18,3	18,3	18,3
19	Zeeland	13,7	11,8	11,8	13,7	11,8
20	Midden West Brabant	17,0	12,0	25,1	25,1	25,1
21	Brabant Noord	14,3	11,8	11,8	33,2	11,8
22	Zuidoost Brabant	11,9	11,9	11,9	24,7	11,9
23	Limburg Noord	13,5	13,5	13,5	22,7	13,5
24	Zuid Limburg	11,9	11,9	11,9	20,3	11,9
25	Flevoland	14,9	11,8	14,9	21,3	14,9
	Gemiddelde	14,5	12,4	31,5	41,7	15,3

Tabel B.9: Criterium (8) gem. aanrijtijd (met MCLP standplaatsen) (min)

RAVnr	RAV naam	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	7,3	6,9	7,0	7,6	7,0
2	Friesland	7,4	7,3	8,2	12,5	7,3
3	Drenthe	7,1	6,9	7,0	8,3	7,0
4	IJsselland	7,3	7,1	7,1	8,0	7,1
5	Twente	6,7	6,2	6,7	7,1	6,2
6	Noordoost Gelderland	7,3	6,9	6,9	9,3	6,9
7	Gelderland Midden	7,2	7,0	7,2	9,8	7,2
8	Gelderland Zuid	6,6	6,0	6,2	7,7	6,0
9	Utrecht	7,3	6,7	7,1	8,3	6,7
10	Noord-Holland Noord	7,5	6,8	7,0	9,1	7,0
11	Amsterdam/Waterland	7,6	7,1	7,4	8,7	7,2
12	Kennemerland	6,9	6,3	6,4	7,2	6,5
14	Gooi- en Vechtstreek	7,1	7,1	7,1	8,9	7,1
15	Haaglanden	6,5	6,4	6,8	7,4	6,5
16	Hollands Midden	6,9	6,3	6,8	8,3	6,5
17	Rotterdam-Rijnmond	7,4	7,3	8,0	10,3	7,5
18	Zuid-Holland Zuid	7,5	6,9	7,4	7,4	7,1
19	Zeeland	6,9	6,5	6,5	6,9	6,5
20	Midden West Brabant	7,8	7,2	7,4	9,3	7,4
21	Brabant Noord	7,4	7,0	7,0	10,5	7,0
22	Zuidoost Brabant	7,3	7,3	7,3	9,2	7,3
23	Limburg Noord	7,1	7,1	7,1	8,5	7,1
24	Zuid Limburg	7,4	7,4	7,4	8,4	7,4
25	Flevoland	5,1	5,0	5,1	6,0	5,1
	Gemiddelde	7,1	6,8	7,0	8,5	6,9

Tabel B.10: Criterium (9) 95% binnen .. min (met MCLP standplaatsen)

RAVnr	RAV naam	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	11,8	10,7	11,0	12,9	10,7
2	Friesland	11,5	11,2	11,3	12,0	11,2
3	Drenthe	11,5	11,4	11,4	16,7	11,4
4	IJsselland	11,8	11,7	11,7	13,9	11,7
5	Twente	10,6	10,2	10,6	11,8	10,2
6	Noordoost Gelderland	11,8	10,8	10,8	16,3	10,8
7	Gelderland Midden	11,3	11,0	11,3	19,2	11,3
8	Gelderland Zuid	11,5	11,4	10,4	14,8	11,4
9	Utrecht	11,5	10,9	11,5	16,6	10,9
10	Noord-Holland Noord	11,5	11,3	11,3	11,7	11,3
11	Amsterdam/Waterland	11,3	11,0	11,1	15,5	11,1
12	Kennemerland	11,1	10,9	10,9	13,7	12,6
14	Gooi- en Vechtstreek	11,0	11,0	11,0	16,8	11,0
15	Haaglanden	11,0	11,0	11,0	13,5	11,0
16	Hollands Midden	11,5	9,9	11,4	14,9	10,1
17	Rotterdam-Rijnmond	11,0	11,0	11,6	24,2	11,4
18	Zuid-Holland Zuid	11,9	11,3	11,3	11,3	11,3
19	Zeeland	11,4	11,2	11,2	11,4	11,2
20	Midden West Brabant	12,0	11,5	11,8	15,7	11,8
21	Brabant Noord	11,5	11,3	11,3	20,5	11,3
22	Zuidoost Brabant	11,6	11,6	11,6	17,7	11,6
23	Limburg Noord	11,4	11,4	11,4	17,2	11,4
24	Zuid Limburg	11,3	11,3	11,3	13,7	11,3
25	Flevoland	10,3	10,3	10,3	17,0	10,3
	Gemiddelde	11,4	11,0	11,2	15,4	11,2

Tabel B.11: Criterium (10) ATTM3 doelfunctie (met MCLP standplaatsen) (min)

RAVnr	RAV naam	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	7,9	7,9	7,7	7,9	7,6
2	Friesland	8,1	8,3	8,8	12,6	7,7
3	Drenthe	8,0	8,0	7,8	8,6	7,8
4	IJsselland	7,8	8,1	7,7	8,2	7,7
5	Twente	7,2	7,2	7,2	7,4	6,9
6	Noordoost Gelderland	8,3	8,0	8,0	9,8	8,0
7	Gelderland Midden	8,5	8,6	8,4	9,9	8,4
8	Gelderland Zuid	7,1	6,9	7,0	8,0	6,9
9	Utrecht	7,9	8,4	7,7	8,3	7,6
10	Noord-Holland Noord	8,4	8,5	8,0	9,5	7,9
11	Amsterdam/Waterland	8,2	8,5	7,5	8,7	7,4
12	Kennemerland	7,6	7,5	7,2	7,3	7,1
14	Gooi- en Vechtstreek	8,3	8,6	8,3	9,6	8,3
15	Haaglanden	7,1	7,8	6,9	7,4	6,7
16	Hollands Midden	7,9	8,2	7,7	8,6	7,7
17	Rotterdam-Rijnmond	9,2	10,7	9,1	10,3	8,9
18	Zuid-Holland Zuid	8,1	7,8	7,7	7,7	7,6
19	Zeeland	7,0	7,3	6,7	7,0	6,7
20	Midden West Brabant	8,6	8,7	8,4	9,4	8,3
21	Brabant Noord	8,4	8,5	8,1	10,5	8,1
22	Zuidoost Brabant	8,3	8,6	8,3	9,2	8,3
23	Limburg Noord	7,9	8,4	7,9	8,9	7,9
24	Zuid Limburg	8,5	9,7	8,5	8,9	8,5
25	Flevoland	6,0	7,3	6,0	6,5	6,0
	Gemiddelde	7,9	8,2	7,8	8,8	7,7

Tabel B.12: Criterium (11) oplostijd (met MCLP standplaatsen) (sec)

RAVnr	RAV naam	DSM	ATTM	MEXCLP	MALP	ATTM3
1	Groningen	0,22	0,48	0,16	0,19	1,03
2	Friesland	0,11	1,40	0,19	0,11	3,34
3	Drenthe	0,14	0,45	0,11	0,14	1,09
4	IJsselland	0,05	0,19	0,05	0,03	0,47
5	Twente	0,05	0,13	0,03	0,05	0,27
6	Noordoost Gelderland	0,06	0,31	0,08	0,06	0,70
7	Gelderland Midden	0,05	0,16	0,06	0,10	0,31
8	Gelderland Zuid	0,26	0,17	0,05	0,01	0,44
9	Utrecht	0,05	0,30	0,05	0,05	0,75
10	Noord-Holland Noord	0,08	0,22	0,06	0,06	0,45
11	Amsterdam/Waterland	0,06	0,20	0,06	0,05	0,44
12	Kennemerland	0,03	0,08	0,03	0,05	0,17
14	Gooi- en Vechtstreek	0,02	0,03	0,03	0,02	0,06
15	Haaglanden	0,05	0,17	0,06	0,05	0,36
16	Hollands Midden	0,08	0,11	0,03	0,03	0,30
17	Rotterdam-Rijnmond	0,03	0,23	0,06	0,03	0,58
18	Zuid-Holland Zuid	0,03	0,08	0,03	0,03	0,20
19	Zeeland	0,03	0,19	0,06	0,03	0,42
20	Midden West Brabant	0,09	0,36	0,08	0,09	0,84
21	Brabant Noord	0,05	0,17	0,05	0,03	0,37
22	Zuidoost Brabant	0,03	0,14	0,05	0,03	0,33
23	Limburg Noord	0,02	0,16	0,05	0,03	0,31
24	Zuid Limburg	0,05	0,17	0,06	0,08	0,34
25	Flevoland	0,03	0,09	0,03	0,02	0,19
	Gemiddelde	0,07	0,25	0,06	0,06	0,57

C

BELANGRIJKE NOTATIE

Hieronder wordt de notatie behandeld die meerdere keren terugkomt.

α	Het percentage oproepen dat binnen r_1 bereikt moet zijn. De waarschijnlijkheid waarmee een oproep gedekt moet zijn.	DSM MALP
b	Aantal ambulances waarmee elk oproeppunt gedekt zou moeten zijn zodat met waarschijnlijkheid α een ambulance beschikbaar is als een oproep plaatsvindt.	MALP
d_i	Het gewicht van oproeppunt i .	alle modellen
f_{ji}	$f_{ji} = 1$ als de ambulance op standplaats j de kortste aanrijtijd naar i heeft van alle geplaatste ambulances.	ATTM
f_{jik}	$f_{jik} = 1$ als de ambulance op standplaats j de k -de kortste aanrijtijd heeft naar i .	ATTM3
i	De locatie van een potentiële noodoproep.	alle modellen
j	De locatie van een potentiële standplaats.	alle modellen
p	Het aantal ambulances.	alle modellen
p_j	Het maximale aantal ambulances op standplaats j .	DSM, aanpassing 4.2.1
q	Busy fraction. Dit is de kans dat een ambulance al is uitgerukt.	MEXCLP, MALP, ATTM3
r	Maximale aanrijtijd zodat een punt gedekt is.	MCLP, MEXCLP, MALP, criteria 4.1
r_1	Maximale aanrijtijd zodat een punt gedekt is. 95% van de oproepen moet hieraan voldoen.	DSM
r_2	Maximale aanrijtijd. 100% van de oproepen moet hieraan voldoen.	DSM

s_{\max}	Maximale aantal standplaatsen.	aanpassing 4.2.1
t_{ji}	De aanrijtijd van standplaats j naar oproeppunt i .	alle modellen
τ_i	De minimale aanrijtijd naar punt i van alle geplaatste ambulances.	criteria 4.1
V	De verzameling van alle potentiële oproepen.	alle modellen
W	De verzameling van alle potentiële standplaatsen.	alle modellen
W_i	De verzameling van alle potentiële standplaatsen waardoor oproep i gedekt kan worden binnen r .	MCLP, MEXCLP, MALP
W_{i1}	De verzameling van alle potentiële standplaatsen waardoor oproep i gedekt kan worden binnen r_1 .	DSM
W_{i2}	De verzameling van alle potentiële standplaatsen waardoor oproep i gedekt kan worden binnen r_2 .	DSM
y_i	Deze variabele is gelijk aan 1 als oproeppunt i door tenminste één ambulance wordt gedekt.	MCLP
y_{ik}	Deze variabele is gelijk aan 1 als oproeppunt i door tenminste k ambulances wordt gedekt.	DSM, MEXCLP, MALP
x_j	Het aantal ambulances op standplaats j .	alle modellen