

**CIA-1**

# **Capaciteitswaarden symmetrische weefvakken**

Conceptrapport

ir. R.G.M.M. Vermijs  
Laboratorium voor Verkeerskunde  
Vakgroep Infrastructuur  
Faculteit der Civiele Techniek  
Technische Universiteit Delft

november 1997

**In opdracht van Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer**

## Voorwoord

Voor u ligt de rapportage van een onderzoek naar de capaciteit van symmetrische weefvakken op autosnelwegen. De studie is verricht in het kader van het project Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen, deel 1 (CIA-1). Dit project heeft als doel een opzet en eerste invulling te maken voor een Nederlands capaciteitenhandboek. CIA deel 2 behelst de verdere invulling van het capaciteitenhandboek (o.a. convergentie- en divergentiepunten) en wordt na CIA-1 uitgevoerd.

Het project CIA-1 is opgedeeld in vijf fasen, die elk een bijdrage leveren aan de totstandkoming van het handboek:

fase 1 Literatuurstudie

fase 2 Capaciteitsbegrippen

fase 3 Bureaustudie/modelonderzoek capaciteit weefvakken

fase 4 De invloed van openbare verlichting op capaciteit

fase 5 Het maken van een eerste opzet van het capaciteitenhandboek

Rapporten van fasen 1, 2 en 4 zijn reeds verschenen.

Het in dit rapport beschreven onderzoek naar de capaciteit van weefvakken is fase 3 in het project CIA-1.

Het onderzoek is uitgevoerd bij het Laboratorium voor Verkeerskunde van de Sectie Verkeerskunde, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, in opdracht van Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer.

## Samenvatting

Het gebruik van de Richtlijnen Ontwerp Autosnelwegen (ROA) bij het ontwerp of de evaluatie van een weefvak leidt niet in alle gevallen tot resultaat. In het geval van weefvakken kan men met behulp van de richtlijnen niet direct een capaciteitswaarde bepalen. Bovendien stijgen weefvakbelastingen soms uit boven de grens tot waar de richtlijnen van toepassing zijn. Dit rapport beschrijft een onderzoek naar bruikbare capaciteitswaarden van symmetrische weefvakken.

De studie bestaat in hoofdzaak uit vier onderdelen:

- ' een analyse van het verkeersproces op weefvakken
- ' een literatuuronderzoek naar in de praktijk gevonden waarden van de capaciteit van weefvakken
- ' een opzet van de simulatiestudie
- ' analyse en verwerking van de simulatieresultaten

De analyse van het verkeersproces laat zien dat de volgende invloedsfactoren per weefvaktype het belangrijkste zijn:

- ' weefvaklengte
- ' percentage wevend verkeer
- ' percentage vrachverkeer

Het literatuuronderzoek leidt tot de volgende resultaten:

De oogst aan praktijkwaarden van weefvakcapaciteiten uit de literatuur is mager.

Een internationale vergelijking van weefvakcapaciteiten is lastig door verschillen in vormgeving en meetmethode.

De huidige richtlijnen schieten te kort bij het beschrijven van alle voorkomende weefvakcapaciteiten.

Er is een globaal verzameldiagram gemaakt met indeling van capaciteitswaarden op basis van het aantal stroken op het weefvak.

In de simulatiestudie zijn 7 symmetrische weefvaktypen onderzocht: met 1+1, 2+1, 3+1, 4+1, 2+2, 3+2, 4+2 rijstroken. Per type weefvak zijn 5 weefvaklengten, 3 percentages wevend verkeer en 3 percentages vrachtverkeer in beschouwing genomen. Van elk geval zijn honderd simulaties verricht, elk met een capaciteitswaarde als resultaat.

De simulatieresultaten zijn verwerkt tot:

- ' cumulatieve frequentieverdelingen per type en belastinggeval
- ' capaciteitsdiagrammen met de invloed van de weefvaklengte op de capaciteit
- ' verzameldiagrammen met de capaciteit als functie van de grootte van de wevende stroom voor alle onderzochte weefvaktypen.

Bij de grotere weefvaktypen is het effect van de lengte op de capaciteit gering

Vrachtverkeer heeft geen constante pae-waarde, bovendien zijn de gevonden waarden hoger dan de waarden die de ROA hanteert.

De gesimuleerde waarden komen globaal gezien overeen met de capaciteitswaarden uit de internationale vergelijking.

# Inhoudsopgave

	<b>blz</b>
<b>Voorwoord</b> .....	<b>i</b>
<b>Samenvatting</b> .....	<b>ii</b>
<b>Lijst van figuren</b> .....	<b>v</b>
<b>Lijst van tabellen</b> .....	<b>vi</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>1</b>
<b>2 De verkeersafwikkeling op weefvakken</b> .....	<b>3</b>
2.1 Inleiding .....	3
2.2 Vormgeving van weefvakken .....	3
2.3 Bebording van weefvakken .....	6
2.4 Perceptie van een weefvak door een bestuurder .....	6
2.5 De verkeersafwikkeling op weefvakken .....	7
2.5.1 Microscopisch .....	7
2.5.2 Macroscopisch .....	8
2.6 De capaciteit van weefvakken .....	9
2.6.1 Definitie .....	9
2.6.2 Het bereiken van de capaciteit op een weefvak .....	9
2.6.3 Invloedsfactoren .....	10
2.6.4 Pae-waarde vrachtverkeer .....	11
2.6.5 Hypothetisch verloop van de weefvakcapaciteit .....	11
<b>3 Praktijkwaarden voor de capaciteit van weefvakken</b> .....	<b>13</b>
3.1 Begrippen .....	13
3.2 Capaciteitswaarde en meetmethode .....	14
3.3 Weefvakcapaciteiten buiten Nederland .....	15
3.3.1 Gemeten waarden .....	15
3.3.2 Weefvakcapaciteiten uit bestaande ontwerpmethoden .....	17
3.4 Capaciteitswaarden van weefvakken in Nederland .....	18
3.4.1 Gemeten waarden .....	18
3.4.2 Geschatte waarden van de capaciteit voor vijf weefvakken ...	19
3.4.3 Nederlandse richtlijnen voor weefvakken .....	21
3.5 Overzicht weefvakcapaciteiten uit de literatuur .....	22
3.6 Conclusies .....	22
<b>4 Opzet bepaling weefvakcapaciteiten via simulaties</b> .....	<b>24</b>
4.1 De gesimuleerde weefvaktypen .....	24
4.2 De gebruikte invloedsfactoren .....	24
4.3 Het gebruikte simulatiepakket .....	26
4.4 Inrichting van de weefvakken .....	27
4.5 De verkeerssamenstelling .....	29
4.6 Het verloop van het verkeersaanbod tijdens een simulatie .....	30

---

4.7	De aggregatieperiode .....	31
4.8	Het aantal simulaties per weefvakconfiguratie .....	33
<b>5</b>	<b>Bevindingen weefvakcapaciteit verkregen uit simulaties .....</b>	<b>34</b>
5.1	Overzicht van alle simulatieresultaten .....	34
5.1.1	Capaciteitsverdelingen .....	34
5.1.2	Normaliteit van de capaciteitsverdelingen .....	35
5.2	Capaciteitsdiagrammen .....	36
5.2.1	Keuze van de vorm en de variabelen .....	36
5.2.2	Resultaten .....	38
5.3	De pae-waarde van vrachtverkeer .....	40
5.4	Verzameldiagram voor de capaciteit van symmetrische weefvakken ..	41
5.5	Vergelijking van gemeten en gesimuleerde capaciteits-waarden .....	43
5.6	Aanbeveling voor het gebruik van capaciteits-diagrammen in het handboek CIA-1 .....	44
5.6.1	Het waardenbereik van capaciteitsdiagrammen .....	44
5.6.2	Het gebruik van capaciteitsdiagrammen .....	45
<b>6</b>	<b>Conclusies .....</b>	<b>46</b>
6.1	Algemeen .....	46
6.2	Praktijkwaarden voor de capaciteit van weefvakken .....	46
6.3	Gesimuleerde waarden voor de capaciteit van weefvakken .....	46
<b>7</b>	<b>Aanbevelingen .....</b>	<b>48</b>
<b>Literatuur .....</b>		<b>49</b>
<b>Bijlagen .....</b>		<b>52</b>
B. 1	Cumulatieve frequentieverdelingen van de capaciteit .....	53
B. 2	Capaciteitsdiagrammen .....	60
B. 3	Verzameldiagrammen .....	67
B. 4	Capaciteitsdiagrammen in pae's, beste fit en volgens ROA .....	69
B. 5	Capaciteitsschattingen d.m.v. extrapolatie van het basisdiagram .....	76
B. 6	Overzichtstabel met mediane capaciteitswaarden voor symmetrisch belaste weefvakken [mvt/h] .....	79

## Lijst van figuren

	<b>blz</b>
Figuur 1.1	Onderzoeksopzet . . . . . 1
	Figuur 2.1.1 Algemene vorm van een weefvak . . . . . 3
Figuur 2.2.1	Symmetrische weefvakken . . . . . 4
Figuur 2.2.2	A-symmetrische weefvakken . . . . . 4
Figuur 2.2.3	Weefvak met 'ritsvakken' . . . . . 5
Figuur 2.3.1	Voorbeeld van bebording bij een weefvak (2+2 rijstroken) . . . . . 6
Figuur 2.5.1	Stappen die een bestuurder doorloopt bij strookwisselen op een weefvak . . . . . 7
Figuur 2.5.2	Voorsorteren stroomopwaarts van het weefvak . . . . . 8
Figuur 2.6.1	Meetdoorsneden bij capaciteitsbepaling van een weefvak . . . . . 9
Figuur 2.6.2	Effect van grootte stromen op functioneren weefvak . . . . . 11
Figuur 2.6.3	Hypothetisch verloop van de weefvakcapaciteit als functie van het volume wevend verkeer . . . . . 12
Figuur 2.6.4	Principeschets van het capaciteitsverloop van een weefvak bij toenemende lengte . . . . . 12
Figuur 3.1.1	Grootheden die een weefvak beschrijven . . . . . 13
Figuur 3.3.1	Capaciteitswaarden van weefvakken buiten Nederland . . . . . 16
Figuur 3.4.1	Capaciteitswaarden van weefvakken in Nederland . . . . . 19
Figuur 3.4.2	Capaciteitsschatting d.m.v. extrapolatie van het basisdiagram . . . . . 20
Figuur 3.5.1	Verzameldiagram gemeten capaciteitswaarden . . . . . 22
Figuur 4.1.1	Overzicht gesimuleerde weefvakken . . . . . 24
Figuur 4.2.1	Verhouding van de doorgaande en wevende stromen bij simulatie van de weefvakken . . . . . 26
Figuur 4.4.1	Voorbeeld inrichting van de gesimuleerde weefvakken . . . . . 28
Figuur 4.6.1	Verloop van het verkeersaanbod tijdens een simulatie . . . . . 31
Figuur 4.7.1	Intensiteitenverloop benedenstrooms van een weefvak . . . . . 31
Figuur 4.7.2	Gemeten en gesimuleerde frequentieverdelingen van de capaciteit . . 33
Figuur 5.1.1	Cumulatieve frequentieverdelingen van capaciteiten voor verschillende percentages vrachtverkeer . . . . . 34
Figuur 5.2.1	Twee mogelijkheden voor het presenteren van gesimuleerde weefvakcapaciteiten . . . . . 37
Figuur 5.2.2	Capaciteitsdiagrammen 1+1 weefvak voor verschillende percentages vrachtverkeer . . . . . 39
Figuur 5.3.1	Capaciteitsdiagrammen in pae/h, beste schatting (pae=2,5) en volgens de ROA (pae=1,75), voor een 1+1 weefvak . . . . . 40
Figuur 5.3.2	Capaciteitsdiagram 2+2 weefvak met pae=2.0 . . . . . 41
Figuur 5.4.1	Verzameldiagram voor weefvakcapaciteiten bij 5% vrachtverkeer, Lmin en symmetrische weefbelasting . . . . . 42
Figuur 5.5.1	Verzameldiagram voor weefvakcapaciteiten in pae/h . . . . . 44

## Lijst van tabellen

	<b>blz</b>
Tabel 2.1	Weefvaktypen volgens de ROA . . . . . 5
Tabel 3.3.1	Capaciteitswaarden van weefvakken buiten Nederland . . . . . 16
Tabel 3.3.2	Weefvakcapaciteiten en grenswaarden volgens methoden in het buitenland . . . . . 17
Tabel 3.4.1	Capaciteitswaarden van weefvakken in Nederland . . . . . 18
Tabel 3.4.2	Geschatte capaciteitswaarden van weefvakken in Nederland . . . . . 21
Tabel 4.2.1	Overzicht van de gebruikte invloedsfactoren bij simulatie van de 7 weef-vakconfiguraties . . . . . 26
Tabel 4.5.1	Instellingen voertuig-bestuurder-combinaties . . . . . 30
Tabel 5.1.1	Statistische kenmerken van een aantal capaciteitsverdelingen, N= 100 . . . . . 36

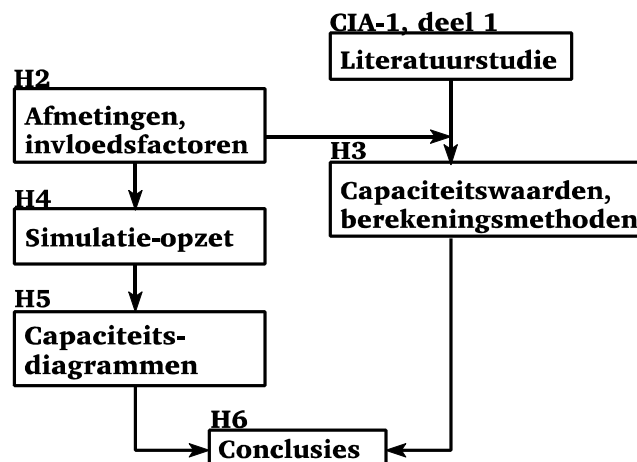
# 1 Inleiding

Het doel van het project Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen (CIA) is het vervaardigen van een Nederlands capaciteitenhandboek voor verkeersvoorzienigen van autosnelwegen. Hierin moeten op basis van beschikbare bronnen alsmede door aanvullend onderzoek capaciteitswaarden worden gegeven voor de meest essentiële vormgevingsoplossingen in autosnelwegen. Het eerste deel van het project CIA richt zich op het vastleggen van capaciteitsbegrippen (Boekholt, 1997), op de verkeersafwikkeling op weefvakken, alsmede de wens inzicht te krijgen in de invloed van openbare verlichting op de capaciteit van wegvakken in autosnelwegen (Botma en v. Goeverden, 1997). Het tweede deel richt zich o.a. op de capaciteit van con- en divergentiepunten en wordt na CIA deel 1 uitgevoerd.

In het kader van CIA-1 is als derde onderdeel een onderzoek naar de capaciteitswaarden van weefvakken uitgevoerd. De aanleiding voor dit onderzoek is de ervaring dat de huidige methoden ter bepaling van de capaciteit van weefvakken waarden opleveren die niet overeenstemmen met waarden die in de praktijk worden gemeten. Het doel is te komen tot praktisch bruikbare capaciteitswaarden voor weefvakken in een vorm die kan worden opgenomen in het Nederlands capaciteitenhandboek.

Het onderzoek naar de capaciteit van weefvakken bestaat uit een bureaustudie en een modelonderzoek. De bureaustudie resulteert in een overzicht van de huidige stand van kennis met betrekking tot capaciteiten van weefvakken in binnen- en buitenland. Daartoe zal de literatuurstudie van het eerste onderdeel van CIA-1 (Minderhoud en Papendrecht, 1996) als basis dienen. Het modelonderzoek moet voor zeven symmetrische weefvaktypen capaciteitswaarden opleveren voor verschillende afmetingen van de weefvakken en onder diverse verkeersbelastingen. Daartoe is het microsimulatiemodel FOSIM gebruikt (o.a. Vermijs, 1992).

In figuur 1.1 staat de opzet van het onderzoek naar de capaciteit van weefvakken afgebeeld.



**Figuur 1.1** Onderzoeksopzet



Hoofdstuk 2 behandelt een aantal algemene zaken met betrekking tot de verkeersafwikkeling op weefvakken. De vormgeving (§2.2), bebording (§2.3) en bestuurdersperceptie van weefvakken (§2.4) geven aanknopingspunten voor de wijze waarop de verkeersafwikkeling zich op een weefvak voltrekt. Een microscopische en macroscopische beschrijving van deze verkeersafwikkeling staat in §2.5. In §2.6 wordt aandacht besteed aan de capaciteit van weefvakken en de factoren die van invloed zijn op de waarde van de capaciteit.

Hoofdstuk 3 gaat in op in de praktijk gevonden waarden voor capaciteiten van weefvakken. Voor die gevallen waarin onvoldoende meetgegevens beschikbaar zijn, worden schattingen gepresenteerd op basis van in de literatuur gevonden methoden. Er wordt onderscheid gemaakt tussen waarden die buiten en in Nederland zijn gevonden, zodat een vergelijking mogelijk is. Een en ander resulteert in een verzameldiagram met in de praktijk gevonden capaciteitswaarden voor meerdere typen weefvakken.

Hoofdstuk 4 behandelt de opzet van een simulatiestudie ten behoeve van de bepaling van capaciteitswaarden van 7 weefvaktypen. Er wordt nader ingegaan op de keuzen die ten grondslag liggen aan de inrichting van de weefvakken, het verloop van de simulaties en de wijze waarop de capaciteit in elke simulatie is bepaald.

De gevonden capaciteitswaarden uit de simulaties worden in Hoofdstuk 5 op een rij gezet. Aandacht gaat onder meer uit naar de wijze waarop de resultaten kunnen worden gepresenteerd.

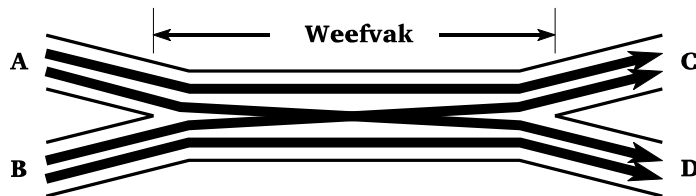
Hoofdstuk 6 bevat conclusies ten aanzien van de gevonden capaciteitswaarden, de tot nu toe gehanteerde methoden om weefvakcapaciteiten te bepalen en de resultaten van de simulaties.

## 2 De verkeersafwikkeling op weefvakken

In dit hoofdstuk wordt allereerst aandacht besteed aan de begrippen die bij weefvakken worden gebruikt en aan de vorm en inrichting van weefvakken. Verder wordt ingegaan op de verkeersprocessen die zich op een weefvak afspelen, hoe deze processen kunnen leiden tot een zekere waarde van de capaciteit en welke factoren daarbij een rol spelen.

### 2.1 Inleiding

Weven kan men zien als het onder een kleine hoek kruisen van verkeersstromen, zonder tussenkomst van een verkeersregelininstallatie. Op autosnelwegen treft men weefvakken aan tussen een samenvoeging en een splitsing van twee (soms meer) rijbanen. Figuur 2.1.1 toont de algemene vorm van een weefvak met de daarop voorkomende stromen.



**Figuur 2.1.1** Algemene vorm van een weefvak

Op het weefvak onderscheiden we de doorgaande stromen AC en BD van de kruisende (wevende) stromen AD en BC. Bestuurders op een weefvak moeten een strook kiezen die leidt naar de gewenste bestemming aan het eind van het weefvak. Voor een aantal bestuurders betekent dit dat zij van rijstrook moeten wisselen. Het grote aantal rijstrookwisselingen dat op een weefvak plaatsvindt heeft invloed op de verkeersafwikkeling ter plaatse. De grotere turbulentie dan op een normaal recht wegvak zorgt voor speciale problemen waardoor weefvakken als aparte wegvakken worden beschouwd. Het bijzondere van weefvakken is dat er tegelijkertijd in- en uitvoegbewegingen plaatsvinden, zelfs in één en hetzelfde hiaat.

De operationele kenmerken van de verkeersafwikkeling op een weefvak hangt naast de grootte en de samenstelling van de verkeersstromen sterk af van de vormgeving.

### 2.2 Vormgeving van weefvakken

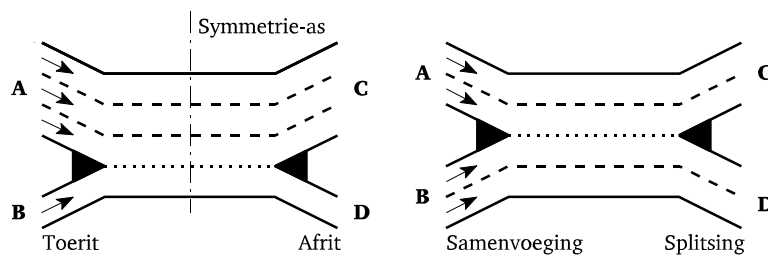
Bij het bepalen van de vorm van een weefvak gelden twee belangrijke uitgangspunten:

- ' Een voldoende aantal stroken per voertuigstroom
- ' minimalisering van het aantal (noodzakelijke) rijstrookwisselingen

In beginsel worden de stromen op een weefvak bediend door het aantal stroken dat

bij de omvang van de stromen past. Dit aantal stromen is bepaald door het aantal stromen vóór en na het weefvak.

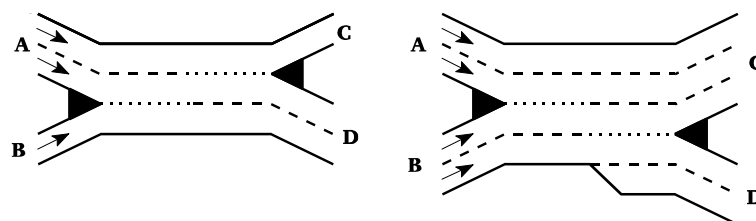
Het minimum aantal rijstrookwisselingen kan men klein houden door de grootste stromen zonder strookwisselingen door het weefvak te leiden. De verhouding van de grootte van de stromen leidt tot een aantal configuraties. Zijn de doorgaande stromen het grootst (AC en/of BD in figuur 2.1.1), dan leidt dat tot weefvakken met een vorm die we doorgaans aanduiden met de term *symmetrisch* (zie figuur 2.2.1). Deze weefvakken zijn spiegelsymmetrisch t.o.v. een raai in het midden van het weefvak.



**Figuur 2.2.1**

*Symmetrische weefvakken*

In het geval één van de kruisende stromen het grootst is ontstaat een a-symmetrisch weefvak. Vaak liggen begin- en eindpuntstuk hierdoor t.o.v. elkaar één of meer stroken versprongen. In figuur 2.2.2 links is de stroom AD het grootst. Vanuit A kan men zonder van strook te wisselen D bereiken. Bestuurders in de stroom BC dienen twee maal van strook te wisselen.



**Figuur 2.2.2**

*A-symmetrische weefvakken*

Er bestaan verschillende manieren om de vormgeving van een weefvak te typeren. Bij symmetrische weefvakken noemt men de in- en uitgaande rijbaanbreedte in stroken gescheiden door een plusteken. Het weefvak in figuur 2.2.1 links is dan een 3+1 weefvak, het weefvak rechts is een 2+2 weefvak. Bij a-symmetrische weefvakken is deze methode niet bruikbaar en bedient men zich van een diagram dat het aantal stromen in, uit en op het weefvak aangeeft. Daarbij wordt het diagram opgesteld naar analogie van de plattegrond van het weefvak. Voor de weefvakken van figuur 2.2.2 links en rechts leidt dat tot respectievelijk:

2	1	2	3
	3		4

1	2	2	2
---	---	---	---

Deze wijze van aanduiden kan men ook voor de symmetrische weefvakken van figuur 2.2.1 gebruiken:

3	3	2	2
	4		4

1	1	2	2
---	---	---	---

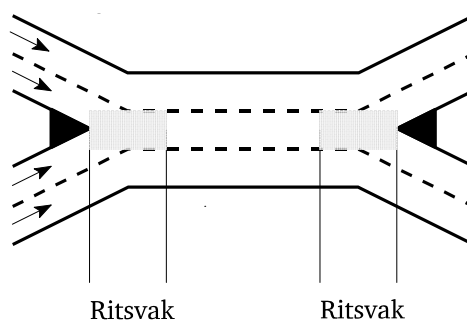
In richtlijnen zoals de HCM en de ROA worden weefvakken onderscheiden naar het minimum aantal strookwisselingen per richting. In tabel 2.1 staan ze op een rij.

**Tabel 2.1** Weefvaktypen volgens de ROA

Minimum aantal rijstrookwisselingen naar links	Minimum aantal rijstrookwisselingen naar rechts		
	0	1	\$ 2
0	-	type B	type C
1	type B	type A	-
\$ 2	type C	-	-

De symmetrische weefvakken van figuur 2.2.1 zijn van het type A, want voor zowel de naar links als naar rechts afslaan de richtingen moet men minimaal één maal van strook wisselen. De weefvakken van figuur 2.2.2 zijn van het type C; voor één weefrichting is geen strookwisseling vereist, voor de andere (minimaal) twee. In Nederland treffen we meestal weefvakken van het type A aan, in de VS type B en C.

Verder vermelden we hier een type weefvak dat in Nederland niet wordt toegepast, maar daarbuiten wel (o.a. VS, Japan). Het is een vorm waarbij één strook op het weefvak is verbonden met twee toeleidende en/of afleidende rijstroken. Daarbij is geen gebruik gemaakt van de taperconstructie zoals we die in Nederland ook kennen, maar van een vak waarin samenvoeging en splitsing van de voertuigstromen plaats vindt d.m.v. ritsen. Figuur 2.1.3 toont zo'n weefvak.

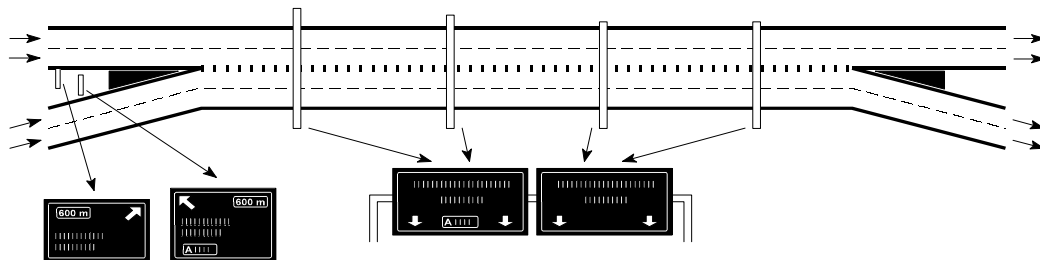


**Figuur 2.2.3** Weefvak met 'ritsvakken'

Het voordeel van dit type weefvak is dat bestuurders in de kruisende stromen niet van strook hoeven te wisselen. Het samenvoegen op het eerste ritsvak geschiedt uitsluitend door aanpassing van de snelheid. Door het ontbreken van noodzakelijke rijstrookwisselingen is de verkeersafwikkeling minder turbulent dan op de eerder genoemde weefvakvormen. Een nadeel is echter dat het aantal stroken op het weefvak kleiner is dan ervoor en erna. Het weefvak vormt daarmee een fysieke bottle-neck en is niet geschikt voor toepassing bij hoge intensiteiten.

## 2.3 Bebording van weefvakken

Naast de plattegrond van een weefvak bepalen routeborden de plaats waar een bestuurder van strook wisselt. De bebording bij weefvakken wordt uitgevoerd met behulp van bermborden of met borden op portalen. Routeborden op portalen hebben als voordeel dat de aangegeven routes recht boven de stroken hangen waar zij betrekking op hebben. Een bestuurder krijgt daardoor snel inzicht in het aantal malen dat hij van strook moet wisselen om de gewenste baan te bereiken. Stroomopwaarts van een weefvak staan geen borden die bestuurders duiden op de aanwezigheid van een weefvak. De ruimte die nodig is om een volgens de richtlijnen geldend aantal borden te plaatsen boven het weefvak, is een maat voor de ondergrens van de weefvaklengte. Het aantal borden (al dan niet op portalen) en hun onderlinge afstand wordt mede bepaald door de ontwerpsnelheid.



**Figuur 2.3.1** Voorbeeld van bebording bij een weefvak (2+2 rijstroken)

## 2.4 Perceptie van een weefvak door een bestuurder

Of, hoe en wanneer een weefvak door een individuele automobilist wordt waargenomen, hangt sterk af van zijn bekendheid met de plaatselijke situatie en de route die hij wenst te volgen. We onderscheiden in dit opzicht: a.) de ervaren bestuurder en b.) de onervaren bestuurder (zie ook Wilmink, 1997).

Ad a.)

Een ervaren bestuurder (verplaatsingsmotief bv: woon-werk en vice versa) weet reeds voor hij op het weefvak is aanbeland dat hij een weefvak nadert. Daarvoor hoeft hij zich niet te oriënteren op routeborden maar kan vertrouwen op zijn geheugen. Op het weefvak aangekomen hangt het van de momentane verkeerssituatie ter plaatse en de persoonlijke voorkeur af hoe snel de noodzakelijke strookwisseling(en) worden uitgevoerd. Bij grote verkeersdruk zal men een strookwisseling snel uitvoeren om niet het risico te lopen de juiste route te missen. Ook ten aanzien van de te verwachten verkeerssituatie heeft de ervaren bestuurder een perceptie op basis van zijn vroegere ervaringen.

Ad b.)

Een bestuurder die ter plaatse niet met de situatie bekend is wordt bij nadering van een weefvak door routeborden gewezen op het feit dat hij weldra van rijbaan moet veranderen (indien zijn bestemming dat vereist). Het is in dit stadium nog niet duidelijk of hij een toe- of afrit danwel een weefvak nadert en hoe vaak hij van strook moet wisselen om de gewenste rijbaan te bereiken. Eenmaal op het weefvak

aanbeland blijkt uit de plaatsing van de routeborden, de vormgeving van het weefvak en het gedrag van overige verkeersdeelnemers dat hij zich op een weefvak bevindt. De resterende weefvaklengte is niet of moeizaam uit het wegbeeld af te leiden, dus kan een bestuurder besluiten een noodzakelijke strookwisseling zo snel mogelijk uit te voeren.

Zowel de ervaren als de onervaren bestuurder kunnen reeds voor het weefvak strookwisselingen uitvoeren. Verder kan men verwachten dat veelal in het begin van het weefvak de noodzakelijke strookwisselingen worden uitgevoerd.

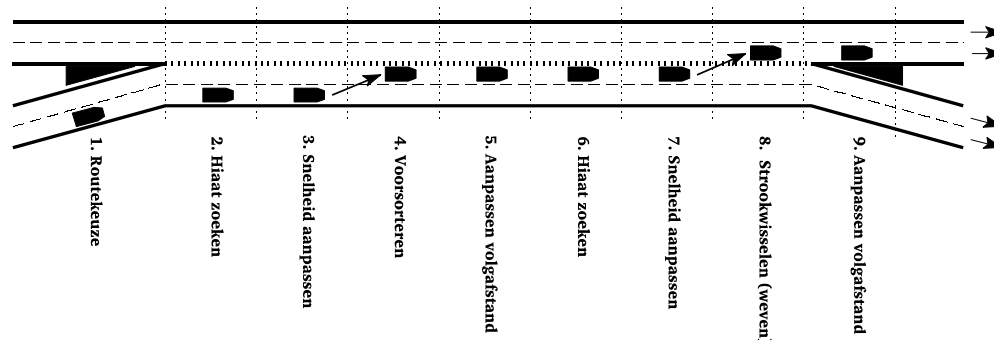
## 2.5 De verkeersafwikkeling op weefvakken

### 2.5.1 Microscopisch

Uitgaande van een bestuurder die op een weefvak van strook moet wisselen om zijn gewenste bestemming te bereiken, onderscheiden we de volgende stappen:

- beslissing betreffende de te volgen route
- zoeken geschikt hiaat om voor te sorteren
- snelheid aanpassen
- voorsorteren (uitvoering strookwisseling)
- aanpassen volgafstand
- zoeken geschikt hiaat om te weven |
- snelheid aanpassen | maal het aantal noodzakelijke
- strookwisselen | strookwisselingen
- aanpassen volgafstand |

Voor de volledigheid in de mogelijk te doorlopen stappen is gekozen voor het voorbeeld van een weefvak met 2+2 rijstroken. De stappen zijn aangegeven in figuur 2.5.1.



**Figuur 2.5.1** *Stappen die een bestuurder doorloopt bij strookwisselen op een weefvak*

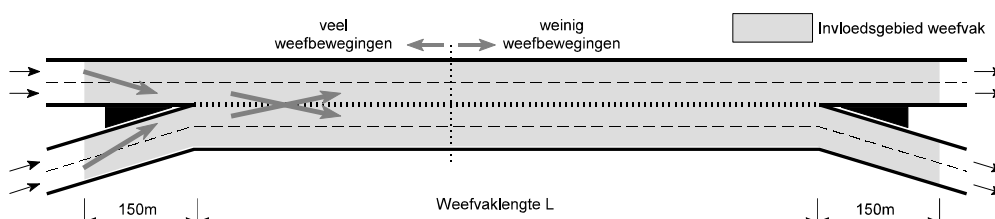
Het strookwisselen om de juiste baan te bereiken is een combinatie van uitvoegen op een strook en direct invoegen op de naastgelegen strook. Van weven is sprake als twee (of meer) voertuigen op naastgelegen stroken ongeveer gelijktijdig in tegengestelde richting van strook wisselen, waarbij ze gebruik maken van hetzelfde hiaat.

Onder anderen Cassidy et al (1991) en Schuurman en Vermijs (1993) vinden dat het grootste deel van de strookwisselingen in de eerste 350m van het weefvak plaatsvindt. Zelfs bij een grote lengte van een weefvak wordt voornamelijk het eerste deel gebruikt. Het proces zoals dat in figuur 2.51 is geschetst neemt dus in werkelijkheid niet de gehele lengte van het weefvak in beslag.

Bestuurders die op het weefvak geen strookwisselingen uitvoeren beperken hun acties tot het aanpassen van de snelheid om ruimte te maken voor bestuurders die van strook willen wisselen en het aanpassen van de volgfstand.

## 2.5.2 Macroscopisch

In het geval de toeleidende rijbanen uit meerdere stroken bestaan, is het mogelijk dat de invloed van het weefvak een aantal honderden meters stroomopwaarts van het beginpuntstuk merkbaar is. Bestuurders kunnen als voorbereiding op de aanstaande strookwisseling vóór het weefvak gaan voorsorteren naar de strook die tegen de deelstreep (blokkenmarkering) aanligt.



**Figuur 2.5.2** Voorsorteren stroomopwaarts van het weefvak

De ROA stelt als invloedsgebied van een weefvak het gebied van het weefvak zelf plus aan voor- en achterzijde een extra gebied van 150 m. In stroomopwaartse richting is, gezien het voorgaande, een extra lengte evident. De feitelijke grootte van het invloedsgebied hangt o.a. af van de plaats van routeborden langs of boven de rijbaan die bestuurders er toe aanzetten een andere strook te kiezen. In stroomafwaartse richting is een extra lengte van het invloedsgebied minder voor de hand liggend. Op uitgaande rijbanen met meerdere rijstroken is het mogelijk dat er nog wat extra strookwisselingen plaatsvinden na het weefvak die te maken hebben met inhaalbewegingen.

Een aantal onderzoekers duidt het eerste deel van het weefvak aan als kritische zone. Door het grote aantal strookwisselingen in dit deel en dus grote kans op verstoringen, is de lokale verkeersafwikkeling aldaar bepalend voor de verkeersafwikkeling van het weefvak als geheel.

Op weefvakken waar sprake is van een hoofdrijbaan plus een toe- en een afrit, kunnen de snelheden van de verschillende verkeersstromen duidelijke verschillen vertonen. Op weefvakken tussen samenvoeging en splitsing van twee hoofdrijbanen zijn snelheidsverschillen in het algemeen verwaarloosbaar. Kleine weefvakken tussen twee klaverbladlussen kenmerken zich door een lage snelheid waarmee de kruisende stromen zich afwikkelen.

## 2.6 De capaciteit van weefvakken

### 2.6.1 Definitie

Door het grote aantal strookwisselingen dat op een weefvak plaatsvindt wordt de verkeersafwikkeling ter plaatse nadelig beïnvloed. Een weefvak onderscheidt zich in die zin van de aangrenzende rijbanen en kan derhalve als capaciteitsbepalend element worden aangemerkt. Als definitie van capaciteit van een weefvak geldt in lijn met de definitie uit CIA-1 fase 2 (Boekholt et al, 1996):

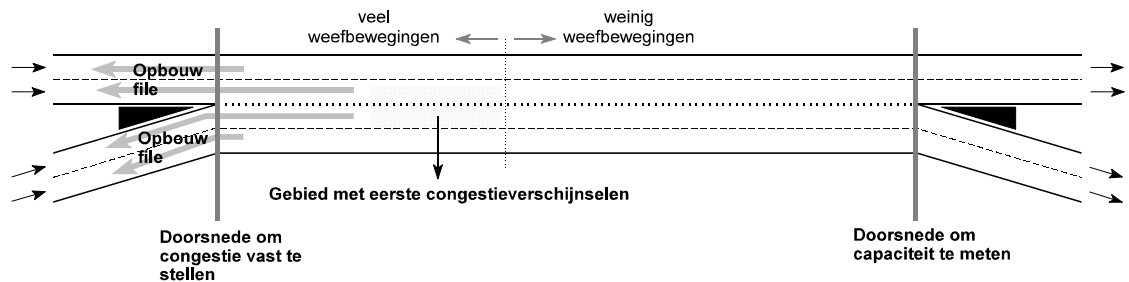
*Het maximaal aantal voertuigen, omgerekend per uur, dat met een redelijke kans het invloedsgebied van een weefvak kan passeren gedurende een bepaalde tijdsperiode onder de heersende weg-, verkeers-, omgevings- en beheersingscondities.*

Aangezien de intensiteiten vlak vóór en na het optreden van congestie wellicht enigszins kunnen verschillen, onderscheiden we naast de capaciteit ook de afrij-intensiteit bij congestie (zie ook § 4.7).

### 2.6.2 Het bereiken van de capaciteit op een weefvak

De snelheidsaanpassingen die nodig zijn om gebruik te kunnen maken van geschikte hiaten kunnen aanleiding geven tot snelheidsaanpassingen (=meestal: remmen!) van de overige verkeersdeelnemers. Bij hoge intensiteiten, dus maar weinig grote volgfstanden, en bij grote aantallen strookwisselingen, leidt dit tot aanzienlijke snelheidsreducties van de voertuigen. Een lagere snelheid heeft gemiddeld nog kortere volgfstanden en dus kleinere hiaten tot gevolg. Bij een blijvend hoog verkeersaanbod leidt het beschreven proces tot verstoring van de verkeersafwikkeling op het weefvak en filevorming bovenstrooms van het weefvak.

De plaats waar voor het eerst snelheden beneden de capaciteitsnelheid optreden bevindt zich op de stroken direct naast de blokkenmarkering op het weefvak. Het aantal voertuigen en het aantal strookwisselingen per lengte-eenheid is op deze stroken het grootst. De plaats vanaf het begin van het weefvak hangt af van het type weefvak en is doorgaans niet groter dan enige honderden meters. Figuur 2.6.1 schetst een beeld van een weefvak waarop congestie ontstaat.



**Figuur 2.6.1**

*Meetdoorsneden bij capaciteitsbepaling van een weefvak*

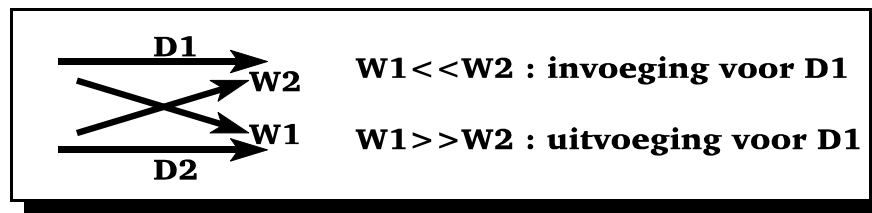


De beste plaats om de capaciteit van een weefvak vast te stellen is daarom een doorsnede aan het eind van het weefvak, in elk geval stroomafwaarts van de file. Op deze plaats is de invloed van opbouwende file (berging) op de intensiteit op het weefvak nihil. De afstand tot de feitelijke bottle-neck is op deze doorsnede klein, zodat de gemeten maximale intensiteit overeenkomt met de capaciteit van het weefvak. Op een doorsnede aan het begin van het weefvak kan men constateren of er sprake is van filevorming.

### 2.6.3 Invloedsfactoren

Naast factoren die van invloed zijn op de capaciteit van elk weefvak, zoals de verkeerssamenstelling, geldt voor de capaciteit per type weefvak een aantal extra factoren. We noemen de weefvaklengte  $L$ , het herkomst-bestemmingspatroon (H-B) op het weefvak en de snelheid van het verkeer op de toeleidende rijbanen

- **De verkeerssamenstelling**  
Het aantal strookwisselingen dat per eenheid van tijd op een weefvak kan worden uitgevoerd is afhankelijk van de snelheid waarmee individuele bestuurders een strookwisseling kunnen uitvoeren. Met name vrachtverkeer heeft meer ruimte (grotere hiaten) nodig om van strook te wisselen en heeft een kleiner acceleratievermogen voor gewenste snelheidsaanpassingen dan personenverkeer. Een hoog aandeel vrachtverkeer heeft derhalve een negatief effect op de hoogte van de capaciteit van een weefvak. Er zijn meer typen trage en/of lange voertuigen te onderscheiden, zoals auto's met caravans. Het aandeel van deze voertuigtypen is in een maatgevend spitsuur doorgaans dermate laag dat zij hier niet als aparte groepen worden beschouwd.
- **De weefvaklengte**  
Bij een zekere snelheid gebruikt een bestuurder een zekere lengte om een strookwisseling (weefbeweging) uit te voeren: de weeflengte. Houdt men rekening met het feit dat strookwisselen niet altijd direct kan doorontbreken van een geschikt hiaat, dan kan men inzien dat de fysieke lengte van een weefvak van invloed is op de snelheid waarmee het verkeer afwikkelt en daarmee op de capaciteit van het weefvak. In paragraaf 2.5.2 is gemeld dat bestuurders de gewoonte hebben voornamelijk in de eerste honderden meters van het weefvak van strook te wisselen. Boven een bepaalde lengte (afhankelijk van het weefvaktype) zal bij gelijkblijvend verkeersaanbod de capaciteit dus niet verder toenemen.
- **Het herkomst-bestemmingspatroon**  
Naast het aantal stroken waaruit een weefvak met toe- en afleidende rijbanen is opgebouwd, speelt het gebruik van die stroken een grote rol voor de hoogte van de capaciteit. Zo kan men eenvoudig inzien dat een weefvak zonder wevend verkeer een capaciteit heeft ongeveer gelijk aan die van een rijbaan met een zelfde aantal stroken. Verder is het van belang te weten hoe groot de doorgaande en kruisende stromen ten opzichte van elkaar zijn. In extreme gevallen functioneert een weefvak als invoeging of uitvoeging.



**Figuur 2.6.2** Effect van grootte stromen op functioneren weefvak

Bij een gegeven totale wevende stroom, heeft een gelijke verdeling van wevende richtingen geringer reducerend effect op de capaciteit. Voertuigen die een doorgaande stroom verlaten maken in dat geval ruimte (geschikte hiaten) voor voertuigen die in deze stroom willen invoegen.

- **Snelheid op de toeleidende rijbanen**

Op weefvakken met twee meerstrooks toeleidende rijbanen is het snelheidsverschil tussen de wevende stromen in het algemeen klein. Vaak is hier sprake van een weefvak tussen twee hoofdrijbanen. Op weefvakken met een duidelijk onderscheid tussen hoofdrijbaan en een verbindingsstrook tussen toe- en afrit kan het snelheidsverschil tussen de wevende stromen daarentegen aanzienlijk zijn. Dit heeft een negatief effect op de snelheid van de wevende stromen. Indien hierdoor de snelheid van de wevende stromen lager wordt dan de snelheid waarbij normaal gesproken de capaciteit wordt bereikt, dan is sprake van capaciteitsverlies.

#### 2.6.4 Pae-waarde vrachtverkeer

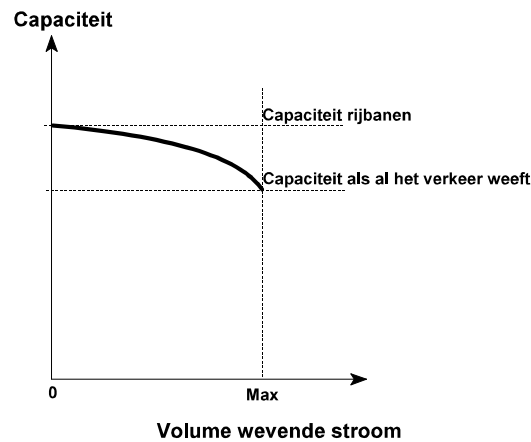
Bij de definitie van de capaciteit van een weefvak is het aantal voertuigen per uur als eenheid gekozen. Een stroom voertuigen bestaat doorgaans uit personenauto's en vrachtwagens, elk met een verschillend effect op de capaciteit. Andere voertuigtypen laten we hier eenvoudigheidshalve buiten beschouwing. Met de pae-waarde (personen-auto-equivalent) kan men het effect van een vrachtwagen op de capaciteit uitdrukken in die van een aantal personenauto's. Door de capaciteit uit te drukken in pae's in plaats van voertuigen plus een percentage vrachtverkeer, kan men situaties met een verschillend percentage vrachtverkeer redelijk met elkaar vergelijken.

De ROA (1992) hanteert voor zwaar vrachtverkeer een pae-waarde van 2.0. Het beslag van vrachtverkeer op de capaciteit van weefvakken is derhalve 2 maal die van personenauto's. Schuurman en Vermijs (1993) constateren dat het effect van vrachtverkeer op de capaciteit geen constante waarde heeft. Voor een eerste benadering lijkt een pae-waarde van 2.0 echter wel bruikbaar (pae licht vrachtverkeer = 1.5, zie ook § 5.3).

#### 2.6.5 Hypothetisch verloop van de weefvakcapaciteit

In paragraaf 2.6.4 zijn een aantal factoren genoemd die in meer of mindere mate de hoogte van de capaciteit van een bepaald type weefvak beïnvloeden. In het geval we pae-waarden gebruiken en snelheidsverschillen tussen de stroken buiten beschouwing laten, blijven weefvaklengte en het herkomst-bestemmingspatroon

als belangrijkste invloedsfactoren over. Figuur 2.6.3 toont het verloop van de weefvakcapaciteit als functie van de grootte van de wevende stroom.

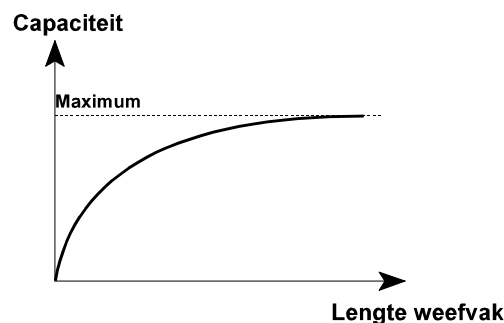


**Figuur 2.6.3** *Hypothetisch verloop van de weefvakcapaciteit als functie van het volume wevend verkeer*

Een paar punten in deze figuur kunnen nader worden verklaard. Als het volume van de wevende stroom gelijk nul is, dan is de capaciteit van het weefvak gelijk aan de capaciteit van de in- en uitgaande rijbanen. Als al het verkeer weeft is de capaciteit van het weefvak per definitie gelijk aan de maximale wevende stroom. De vorm van het capaciteitsverloop is niet lineair omdat we kunnen aannemen dat het marginale effect van wevend verkeer op de capaciteit groter is dan die van niet-wevend verkeer. Bij kleine wevende stromen is dit marginale effect niet gelijk aan nul, zodat het verloop ter hoogte van de oorsprong niet horizontaal is.

Het capaciteitsverloop van een weefvak als functie van de toenemende weefvaklengte staat in figuur 2.6.4. Bij een lang weefvak heeft het vergroten van de lengte geen effect op de capaciteit (zie ook § 2.6.3). Bij een weefvaklengte gelijk aan nul is de capaciteit per definitie nul. Aldus ontstaat een niet-lineair verloop.

De exacte vorm van beide geschetste capaciteitsverlopen zal in het vervolg van deze studie voor een aantal weefvakken worden vastgelegd.



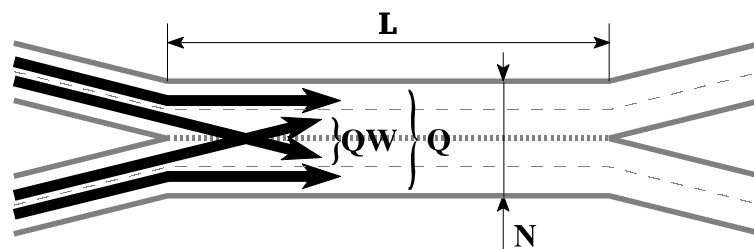
**Figuur 2.6.4** *Principeschets van het capaciteitsverloop van een weefvak bij toenemende lengte*

### 3 Praktijkwaarden voor de capaciteit van weefvakken

De inhoud van dit hoofdstuk is gebaseerd op literatuureenheden die zijn gevonden in CIA-1, fase 1: Literatuurstudie. Op basis van deze eenheden wordt een internationale en nationale vergelijking gepresenteerd van in de praktijk waargenomen waarden voor de capaciteit van weefvakken. Voor een aantal locaties waar de capaciteit niet is gehaald is een schatting van de capaciteit gegeven. Tevens is een overzicht gemaakt van capaciteitswaarden verkregen met behulp van de belangrijkste ontwerpmethoden voor weefvakken.

#### 3.1 Begrippen

Voor een internationale vergelijking van een weefvakcapaciteiten is een eenduidige beschrijving van de plattegrond en verkeersstromen onontbeerlijk. Hieronder volgt een beschrijving van de belangrijkste kenmerken van een weefvak.



**Figuur 3.1.1** Grootheden die een weefvak beschrijven

#### Afmetingen

weefvaklengte L: afstand tussen puntstukken

Aantal stoken op het weefvak N

#### Configuratie

De configuratie van een weefvak wordt, naast het aantal stoken op het weefvak, bepaald door het aantal stoken op de afzonderlijke rijbanen stroomop- en stroomafwaarts van het weefvak. De configuratie kan worden weergegeven op één van de wijzen aangegeven in § 2.2.

#### Voertuigstromen op een weefvak

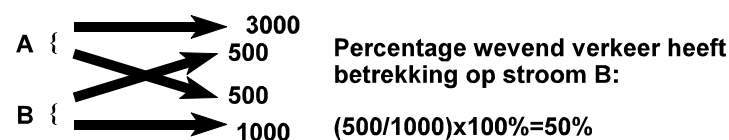
Q: Totale voertuigstroom

QW: Volume wevend verkeer

R: Volumeratio =  $QW/Q$

WR: Weefratio  $WR = \text{volume kleinste wevende stroom}/QW$

Percentage wevend verkeer: aandeel wevend verkeer in % van kleinste ingaande stroom, ofwel  $W1/D1$  als  $D1 < D2$  of  $W2/D2$  indien  $D < D1$ . Voorbeeld:



## 3.2 Capaciteitswaarde en meetmethode

In het vervolg van dit hoofdstuk worden veelvuldig capaciteitswaarden met elkaar vergeleken. Men moet zich bij de interpretatie van deze waarden een aantal zaken bedenken met betrekking tot de totstandkoming van deze capaciteitswaarden.

- ' Capaciteitswaarden worden in het algemeen afgeleid uit een geteld aantal voertuigen op een wegdoorsnede gedurende een bepaalde periode. De lengte van de tel(aggregatie-)periode bepaalt mede de hoogte van de vastgestelde capaciteit. Gedurende een korte meetperiode zijn pieken in het intensiteitsverloop mogelijk die bij een lange meetperiode, door eveneens optredende relatief lage intensiteiten, niet merkbaar zijn. De gegevens die ten behoeve van deze studie zijn verzameld bevatten waarden op basis van verschillende aggregatieperioden. Veel gebruikte aggregatieperioden zijn 5 en 15 minuten. Bij een aggregatieperiode van 5 minuten zijn de capaciteitswaarden dus doorgaans wat hoger dan bij 15 minuten.
- ' Intensiteiten op stroken kan men op verschillende wijze tellen. In de meeste gevallen wordt gebruik gemaakt van lusdetectoren in het wegdek. Detectiefouten kunnen optreden als passerende voertuigen strookwisselen (ze rijden dan precies tussen twee detectoren in). Op weefvakken is veelvuldig sprake van strookwisselende voertuigen. De kwaliteit van de telgegevens hangt dan sterk af van de plaats van de detectoren in het weefvak. Een andere telmethode is gebruik maken van video-opnamen die vervolgens handmatig worden uitgelezen. Deze methode geeft in het algemeen de nauwkeurigste resultaten, maar is arbeidsintensief.
- ' Zoals in het vorige hoofdstuk aan de orde is geweest hangt de capaciteit van een weefvak af van een aantal invloedsfactoren. De grootte van deze invloedsfactoren is niet altijd exact bekend. Zo is het herkomstbestemmingspatroon meestal verkregen uit videobeelden. Het verwerken van deze beelden is enorm arbeidsintensief, zodat de opgegeven waarden voor het h-b-patroon meestal zijn gebaseerd op een steekproef met beperkte duur.
- ' In een aantal gevallen is niet direct de capaciteit gemeten, maar de intensiteit en de snelheid op een beperkt aantal stroken van het weefvak. Voor de intensiteit op de resterende stroken moet men aannamen doen om de capaciteit van het weefvak als geheel te kunnen inschatten.

### 3.3 Weefvakcapaciteiten buiten Nederland

Een wereldwijde vergelijking van weefvakcapaciteiten kent het bezwaar dat weefvakken overall anders worden vormgegeven. Verder is het capaciteitsgetal dan weer wel en dan weer niet uitgedrukt in pae's, terwijl de pae-waarde van vrachtverkeer niet altijd wordt gemeld. Men moet een internationale vergelijking van weefvakcapaciteiten dus vooral zien als een indicatie van de waarden die de capaciteit in voorkomende gevallen kan aannemen. De verschillende weefvaktypen zijn vergeleken op basis van het aantal stroken op het weefvak.

#### 3.3.1 Gemeten waarden

Uit de literatuurstudie blijkt dat buiten Nederland een tweetal landen gemeten capaciteiten van weefvakken rapporteren: Japan en De Verenigde Staten van Amerika. Per land wordt aangegeven hoe de waarden zijn verkregen. Tabel 3.3.1 geeft een overzicht van de onderzochte locaties, het type weefvak en de gevonden capaciteitswaarde. In figuur 3.3.1 zijn de capaciteitswaarden grafisch weergegeven.

##### Japan

Nakamura et al (1991) maken melding van een aantal capaciteitswaarden op weefvakken in Tokio. Kuwahara et al (1991) beschrijven deze weefvakken in een vergelijkende studie van methoden ter bepaling van de capaciteit van weefvakken. Van belang is dat de onderhavige weefvakken alle zijn voorzien van taper-constructies bij het convergentie- en het divergentiepunt. De capaciteitswaarden in tabel 3.3.1 zijn afrij-intensiteiten, aangezien er sprake was van filevorming bovenstrooms van het weefvak.

##### VS

De oogst aan capaciteitswaarden uit de Verenigde Staten is beperkt doordat de Amerikaanse aandacht hoofdzakelijk is gericht op snelheid van de wevende en niet-wevende stromen. Capaciteitswaarden zijn daardoor alleen indirect te bepalen uit de data die bij de beschreven onderzoeken is gepresenteerd. De meeste methoden voor de bepaling van de verkeersafwikkeling op weefvakken (zo ook de HCM-methode) zijn gebaseerd op snelheden van de wevende en niet-wevende stromen. De gevonden capaciteitswaarden zijn verkregen uit studies van Skabardonis et al (1989), Cassidy et al (1990), en Alexiadis et al (1993).

De weefvakken met 3 stroken op het weefgedeelte zijn onderling te vergelijken, ondanks verschillen in configuratie van de toe- en afleidende stroken. Verschillen in capaciteitswaarden kunnen worden verklaard uit verschillen in volumeratio  $R$  en weefratio  $WR$ . In de studie van Skabardonis zijn een achttal weefvakken onderzocht, waarvan de capaciteit na simulatie met het gecalibreerde model INTRAS werd vermoed in de buurt van 2200 à 2300 pae/h/str.  $QW$ ,  $R$  en  $WR$  zijn niet gemeld. De opgegeven waarde in tabel 3.3.1 is dus een voorzichtige schatting.

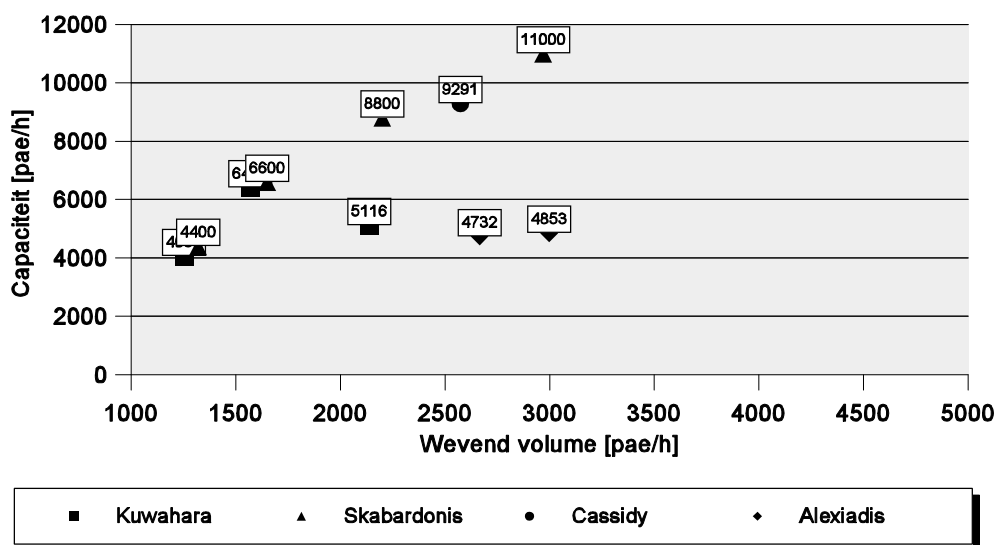
Alexiadis geeft relatief lage schattingen van de capaciteit vanwege hoge volumes wevend verkeer.

**Tabel 3.3.1** Capaciteitswaarden van weefvakken buiten Nederland

Auteur	L [m]	configuratie	RO A-type	R	WR	Q [pae/h]	meetmethode	QW [pae/h]	pae
	800	2 2 3 2 2 2	C	0,418	0,318	5116 (a)		2138	1,5
Kuwahara (1991)	830	2 2 1 1	A	0.309	0,315	4055 (a)	(5),(v+l)	1253	1,5
	1045	1 2 3 3 3 2	B	0,245	0,328	6406 (a)		1569	1,5
Skabardonis (1989)	240-600	diverse (8 stuks)	B	var.	var.	Nx2200 (c)	(5),(v,s)	var.	2,0
Cassidy (1990)	445	4 4 5 2 1 2	B	0,277	0,148	9291 (o)	(5),(v)	2574	2,0
	194	1 3 3 3 2 1	B	0,62	0,20	4853 (a)		2998	2,0
Alexiadis (1993)	198	1 2 3 3 2 2	B	0,56	0,31	4732 (a)	(60),(v)	2665	2,0

(a) = Afrij-intensiteit, (c) = Capaciteit, (o) = Ondergrens capaciteit  
 (5),(15),(30) = Aggregatieperiode in minuten  
 (v) = Videogegevens, (l) = Lusgegevens, (s) = Schatting

In figuur 3.3.1. is bij de waarden van Cassidy telkens een volumeratio aangenomen van een vergelijkbaar weefvak uit een andere studie. Wat uit de figuur kan worden afgeleid is dat de meeste driestrooms weefvakken capaciteitswaarden hebben die ongeveer op een (dalende) lijn liggen.

**Figuur 3.3.1** Capaciteitswaarden van weefvakken buiten Nederland

### 3.3.2 Weefvakcapaciteiten uit bestaande ontwerpmethoden

De meestgebruikte methode om de verkeersafwikkeling op weefvakken te evalueren, is de methode die in de HCM (1985 en 1994) staat beschreven. In veel landen in de wereld, o.a. Nederland, zijn richtlijnen voor het ontwerp van weefvakken ontwikkeld die rechtstreeks zijn afgeleid van de HCM-methodiek. In Duitsland is door Brilon et al (1994) een alternatieve methode ontwikkeld. Deze is zeer eenvoudig van opzet en toepasbaar op verschillende typen discontinuïteiten. De Amerikaanse en Duitse methoden ter bepaling van de capaciteit van weefvakken zullen nu kort worden aangestipt (zie ook Minderhoud, 1997).

#### VS

In de VS is in de loop van de jaren een aantal methoden ontwikkeld, waarvan er zeven in Skabardonis et al (1989) zijn vergeleken, inclusief de HCM-methoden uit 1965 en 1985. Vijf van deze methoden hanteren een snelheids criterium als maat voor de kwaliteit van de verkeersafwikkeling. Capaciteitswaarden worden dus in zekere zin indirect verkregen uit de bepaalde snelheden van de wevende en niet wevende stromen. De laatste jaren groeit ook in de VS twijfel over de bruikbaarheid van een snelheids criterium voor het bepalen van de kwaliteit van de verkeersafwikkeling op weefvakken (zie ook Cassidy et al, 1989). De door Cassidy en May (1991) voorgestelde methode maakt gebruik van schattingen van de verdeling van het verkeer over de rijstroken op diverse doorsneden, samen met maxima voor het aantal voertuigbewegingen in een kritische zone en gemiddeld per strook. Van alle methoden zijn die van de HCM en Cassidy en May als exponenten van de verschillende benaderingen naast elkaar gezet. Het resultaat staat in tabel 3.3.2. In het geval van de HCM moet men de waarden zien als grens tot waar men de gepresenteerde methode van toepassing acht.

#### Duitsland

Brilon et al (1994) presenteren in het Duitse handboek voor capaciteit en kwaliteit van autosnelwegen een methode die uitsluitend betrekking heeft op de rechter strook van de hoofdrijbaan. Bij een 2+1 weefvak laat men op de rechter strook maximaal 2000 pae/h toe, bij een 1+1 weefvak maximaal 3150 pae/h.

**Tabel 3.3.2** Weefvakcapaciteiten en grenswaarden volgens methoden in het buitenland

N	HCM*			Cassidy en May		Brilon et al	
	QW (A)	QW (B,C)	Q	Qkrit	Q	QW	Q**
2	1800	3000	3800	-	4400	3150	4000
3	1800	3000	5700	5900	6600	2000	5900
4	1800	3000	7600	5900	8800	2000	8105
5	1800	3000	9500	5900	11000	2000	nb
6	1800	3000	11400	5900	13200	2000	nb

\* grenswaarde

\*\* toelaatbare intensiteit op de invoegstrook = 2000 pae/h

(A) = weefvak type A, (B,C) = weefvak typen B en C



In alle gevallen zijn de waarden van Q in tabel 3.3.2 af te leiden uit de maximaal toegestane intensiteiten op de rijbanen. Bij zeer hoge percentages wevend verkeer kunnen deze waarden van Q lager zijn.

### 3.4 Capaciteitswaarden van weefvakken in Nederland

Meetgegevens van de capaciteit van weefvakken in Nederland zijn schaars. De beperkte omvang van het autosnelwegennet is hier mede debet aan. Verder zijn vaak andere oorzaken aan te geven dan het weefproces zelf die tot congestievorming op een weefvak leiden, zoals een bottle-neck benedenstreams van het onderhavige weefvak.

#### 3.4.1 Gemeten waarden

Capaciteitswaarden van weefvakken in Nederland zijn gemeld door Klein (1987), Vermijs (1991), Transpute (1993), Schuurman en Vermijs (1993) en Grontmij (1996). Een overzicht van de waarden staat in tabel 3.4.1. In alle gevallen betreffen de opgegeven waarden een ondergrens voor de capaciteit.

**Tabel 3.4.1** Capaciteitswaarden van weefvakken in Nederland

Auteur	L [m]	configuratie	RO A-type	R	WR	Q [pae/h]	meetmethode	QW [pae/h]	pae
Klein (1987)	850	2 2 4 2	A	0,53 8	0,48 1	7446 (o)	(30),(v)	3926	1,5
Vermijs (1991)	135 0	2 2 4 2	A	0,44 0	0,39 8	7452 (o)	(5),(v)	3279	1,5
Transpute (1993)	850	2 2 4 2	A	0,53 8	0,48 1	8563* (o)	(15),(l,s)	4515	1,5
	600	3 3 4 1	A	0,23	0,27	6650 (o) (6816)		1530 (1568)	mvt (1,5)
Schuurman en Vermijs (1993)	135 0	2 2 3 1	A	0,25 8	0,50 0	5177 (o)	(5),(v)	1336	1,5
Grontmij (1996)	860	2 3 4 2	B	0,38	0,27	10218 (o)	(5),(l)	3800	1,5

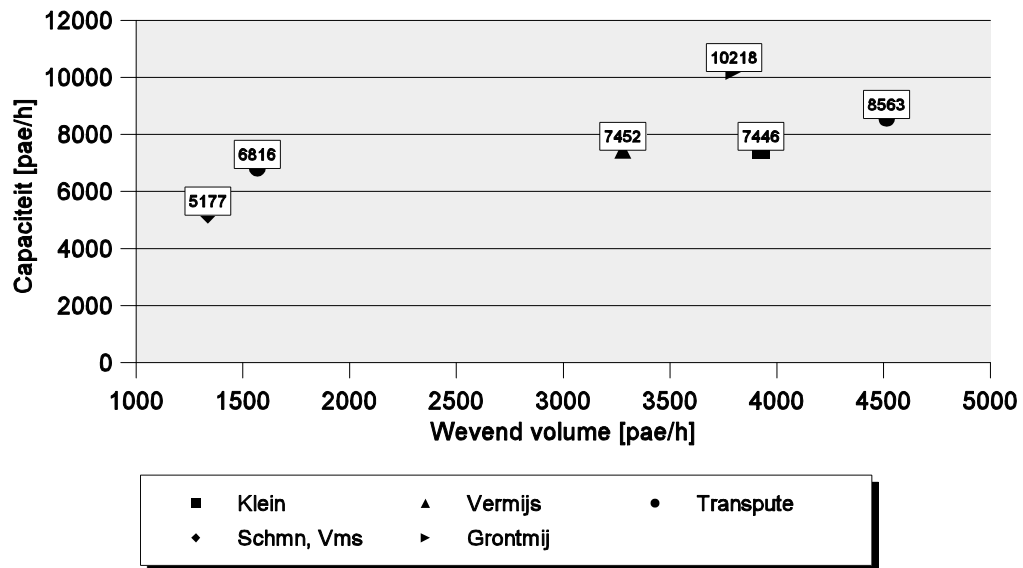
\* zie Klein (1987) + 15%

(a) = Afrij-intensiteit, (c) = Capaciteit, (o) = Ondergrens capaciteit

(5),(15),(30) = Aggregatieperiode in minuten

(v) = Videogegevens, (l) = Lusgegevens, (s) = Schatting

Voor de capaciteitswaarden uit de Nederlandse situatie is een overzicht gemaakt in figuur 3.4.1. Wat een vergelijking tussen waarden in Nederland en daarbuiten bemoeilijkt, is het verschil in aantal stroken op het weefvak van de meest onderzochte weefvakken (Nederland: 4 stroken, daarbuiten : 3 stroken).



**Figuur 3.4.1** Capaciteitswaarden van weefvakken in Nederland

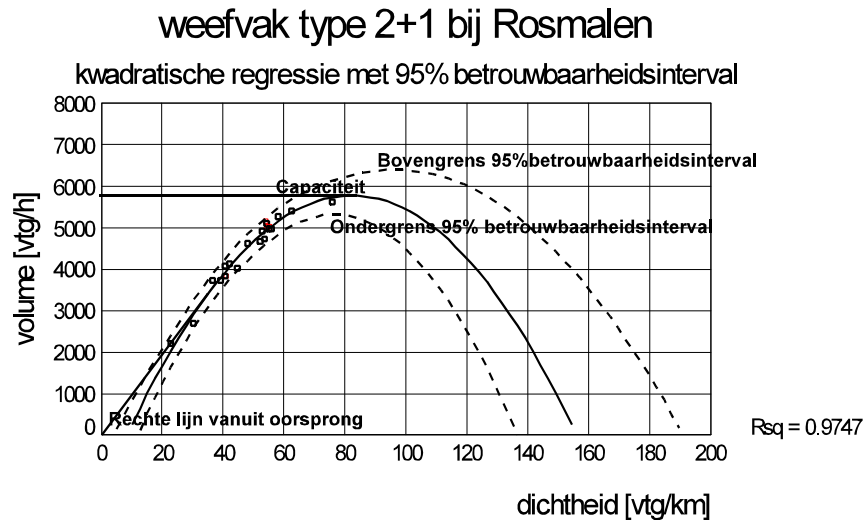
De onderzochte weefvakken zijn op één na van het type A. Aan de gerealiseerde wevende stromen kan men zien dat deze in een aantal gevallen ruim uitstijgen boven de grenswaarde van 1800 pae/h/str die de ROA voor dit type weefvak stelt.

### 3.4.2 Geschatte waarden van de capaciteit voor vijf weefvakken

In de studie naar discontinuïteiten op autosnelwegen (Schuurman en Vermijs, 1993) zijn een vijftal weefvakken onderzocht. Bij geen van de weefvakken zijn capaciteitswaarden gemeten. Wel zijn voor een zekere periode per weefvak intensiteits- en snelheidsgegevens verzameld. Deze gegevens kunnen worden gebruikt om de capaciteit te schatten. Uit de mogelijke methoden die men kan gebruiken om de capaciteit te schatten (Minderhoud, 1996) is extrapolatie van het basisdiagram gekozen. Hierbij zijn de volgende aannamen gedaan:

- ' Het eerste deel van het basisdiagram (qk-diagram) is een rechte
- ' Het vervolg van het diagram kent een kwadratisch verloop
- ' Het capaciteitspunt ligt niet bij een vooraf vastgestelde maximale dichtheid (de dichtheid bij het capaciteitspunt op een weefvak is sterk afhankelijk van de hb-tabel van het weefvak)

In de praktijk komt het schatten van de capaciteit d.m.v. extrapolatie van het basisdiagram neer op het fitten van een kwadratische functie door de gemeten waarden. Daarbij is het niet nodig (wenselijk) dat de functie de x-as snijdt in het nulpunt, aangezien we hebben aangenomen dat het eerste deel van de grafiek een rechte is. In figuur 3.4.2 wordt een en ander aanschouwelijk gemaakt aan de hand van de capaciteitsschatting voor het weefvak bij Rosmalen.



**Figuur 3.4.2** Capaciteitsschatting d.m.v. extrapolatie van het basisdiagram

De capaciteitsschattingen zullen nu per meetlocatie worden behandeld. In bijlage 5 zijn de grafieken voor de overige weefvakken opgenomen.

### Prins Clausplein

De gegevens van het weefvak bij het Prins Clausplein komen uit een studie van Klein (1987). Dit weefvak met 2+2 rijstroken is inmiddels vervangen door een stelsel van breivakken. De individuele meetpunten zijn gebaseerd op gegevens geaggregeerd per 30 minuten. De dichtheden zijn verkregen uit schattingen van de gemiddelde snelheid op het weefvak. De capaciteit op deze wijze bepaald heeft een waarde van ongeveer 7200 vtg/h.

### Lunetten-Rijnsweert

De meetgegevens van de locatie op de A27 tussen de knooppunten Lunetten en Rijnsweert zijn geaggregeerd voor perioden van 5 minuten. Ook op deze locatie betreft het een weefvak met 2+2 rijstroken. Dichtheden zijn hier bepaald aan de hand van trajectnelheden in het eerste deel van het weefvak. Het aantal meetpunten is geringer dan bij het Prins Clausplein hetgeen zich vertaalt in een onbetrouwbare schatting van de capaciteit. De waarde van de geschatte capaciteit ligt overigens wel op hetzelfde nivo als bij het voorgaande weefvak: ca. 7200 vtg/h.

### Leidschendam

Het weefvak bij Leidschendam is een weefvak van het type 2+1. De data van dit weefvak is geaggregeerd voor perioden van 5 minuten. Op een locatie direct bovenstrooms en benedenstrooms van het weefvak zijn meetgegevens verzameld. De data kent voor beide meetlocaties een geringe spreiding. Het schatten van de capaciteit m.b.v. een concave kwadratische functie is in dit geval alleen mogelijk indien de functie door de oorsprong gaat. Het verschil in geschatte capaciteit tussen beide meetlocaties is aanzienlijk. Bovenstrooms is de geschatte capaciteit ca. 7300 vtg/h, benedenstrooms ca. 4700 vtg/h. In de bovenstroomse doorsnede geldt bij capaciteit een onwaarschijnlijke dichtheid van 120 vtg/km voor 3 stroken. Beide waarden zijn niet erg betrouwbaar.

### Rosmalen

Dichtheden op het 2+1 weefvak bij Rosmalen zijn afgeleid uit intensiteiten en snelheden op een meetlocatie 350m stroomafwaarts van het beginpuntstuk. Ze zijn geaggregeerd voor perioden van 1 minuut. Het levert een schatting van de capaciteit op van ca. 5800 vtg/h.

### Diemen

De meetgegevens die op het 3+1 weefvak bij Diemen zijn verzameld betreffen een periode met relatief lage intensiteiten (4000 vtg/h). Snelheidsgegevens van de hoofdrijbaan zijn in onvoldoende mate aanwezig om een zinvolle schatting van de dichtheden en dus de capaciteit mogelijk te maken.

In tabel 3.4.2 staan de geschatte capaciteitswaarden bij elkaar. Als we naar de resultaten kijken van de extrapolaties kunnen we stellen dat de geschatte capaciteitswaarden van dezelfde grootte-orde zijn als de waargenomen capaciteiten uit paragraaf 3.4.1 bij vergelijkbare R, RW en Q (men dient de geschatte capaciteitswaarden nog om te rekenen in pae-waarden). Vergelijk als voorbeeld Prins Clausplein (7200 mvt/h) uit tabel 3.4.2 met Klein (7446 pae/h) uit tabel 3.4.1.

**Tabel 3.4.2** Geschatte capaciteitswaarden van weefvakken in Nederland

Weefvak, type	Capaciteit [mvt/h]	Kritische dichtheid [mvt/km/str]	kritische snelheid [km/h]
Prins Clausplein, 2+2	7200	25	72
Lunetten-Rijnsweert, 2+2	7100	25	71
Leidschendam, 2+1	4700	25	63
Rosmalen, 2+1	5800	27	72
Diemen, 3+1	-	-	-

### 3.4.3 Nederlandse richtlijnen voor weefvakken

De wijze om in Nederland de capaciteit van een weefvak te toetsen is gebruik te maken van de richtlijnen neergelegd in de ROA. Deze richtlijnen zijn rechtstreeks afgeleid van de HCM (1985). De grenzen voor de bruikbaarheid van de ROA-richtlijnen kan men aflezen in tabel 3.3.2.

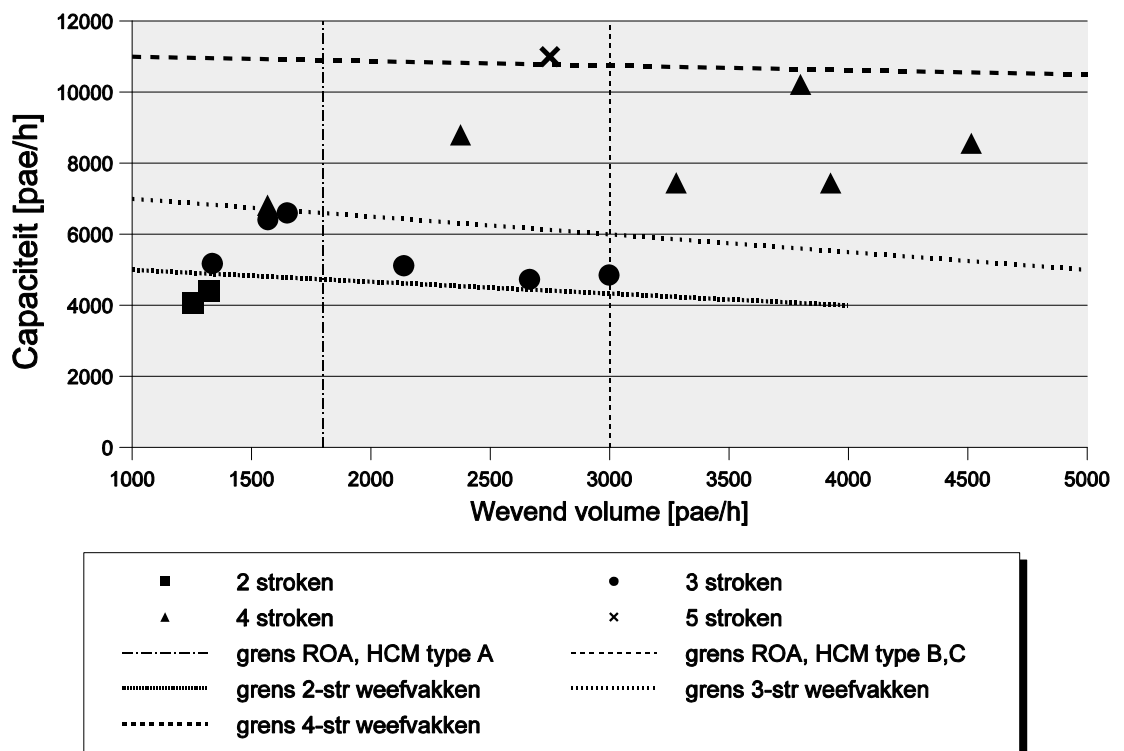
Van de weefvakken in tabel 3.4.1 voldoen er slechts twee aan het criterium van de toelaatbare wevende stroom van 1800 pae/h, een 3+1 en een 2+1 weefvak. De lengte van het 2+1 weefvak is groter dan het maximum van 600 meter bij type A. Gezien het verwaarloosbare effect van een lengteverandering op de capaciteit van lange weefvakken, lijkt het stellen van een maximum aan de toepasbaarheid van de richtlijnen niet zinvol. Wel is het dan zaak om bij de berekening van de snelheden van de wevende en niet-wevende stromen voor de weefvaklengte maximaal 600m op te geven.

Voor beide genoemde weefvakken blijkt na berekening volgens de ROA-methodiek een afwikkelingsniveau C voor de wevende en D voor de niet-wevende stromen. Dit komt overeen met de constatering dat op de onderhavige weefvakken geen capaciteit gemeten is.

### 3.5 Overzicht weefvakcapaciteiten uit de literatuur

In figuur 3.5.1 is een overzicht gemaakt van alle waarden, nu met het aantal stroken op het weefvak daarbij aangegeven. De grenzen van de toepasbaarheid van de ROA (HCM) zijn aangeduid met een verticale lijn.

Zowel voor de driestrooks als de vierstrooks weefvakken zijn gebieden aangegeven waarbinnen capaciteitswaarden van de desbetreffende configuraties te verwachten zijn. Omdat het exacte verloop van de gebiedsgrenzen nog niet bekend is, zijn hier rechte lijnen aangenomen. Duidelijk is dat de richtlijnen een kleiner toepassingsgebied bestrijken dan waarin capaciteiten van weefvakken kunnen worden gevonden.



**Figuur 3.5.1** Verzameldiagram gemeten capaciteitswaarden

### 3.6 Conclusies

Het algemene beeld met betrekking tot gemeten capaciteiten van weefvakken is dat er weinig praktijkgegevens voorhanden zijn. De vormgeving van weefvakken kan

per werelddeel verschillen, hetgeen een vergelijking van de gevonden waarden bemoeilijkt. Als men de gevonden capaciteitswaarden vergelijkt op basis van het aantal stroken op het weefvak, dan blijkt een grote spreiding door verschillen in vorm en overige invloedsfactoren.

Door de wijze waarop in het verleden de verkeersafwikkeling op weefvakken werd beoordeeld (snelheids criterium) is niet steeds gezocht naar de capaciteit van weefvakken als coherent systeem. Een capaciteitswaarde is dan de intensiteit bij een zekere snelheid waarbij men het begin van congestie veronderstelt.

Capaciteitswaarden voor 2-strooks weefvakken gaan tot ca 4500 pae/h, de capaciteit van 3-strook weefvakken varieert van 4500 tot 7000 pae/h, de 4-strooks van 7000 tot 10000 pae/h.

De gevonden capaciteiten van weefvakken komen ongeveer overeen met capaciteitswaarden van gewone wegvakken (2 str: 4600 pae/h, 3 str: 6700 pae/h, 4 str: 9000 pae/h, volgens de ROA). De verklaring hiervoor ligt in het feit dat voertuigen die in een bepaalde richting van strook wisselen hiaten creëren voor voertuigen die in tegengestelde richting van strook wisselen. De door strookwisselen ontstane verstoringen in de verkeersstroom treden hierdoor in mindere mate op dan bij invoegen, of dempen snel uit. Een en ander hangt nauw samen met het herkomst-bestemmingspatroon op het weefvak.

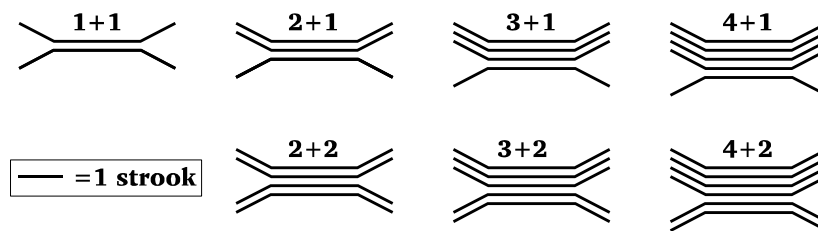
De meeste capaciteitswaarden buiten Nederland vallen binnen de grenswaarden van toepasbaarheid van richtlijnen als de HCM. De gevonden capaciteitswaarden in Nederland vallen daar vaak buiten. Dit heeft naar alle waarschijnlijkheid te maken met verschillen in vormgeving, wetgeving en rijgedrag tussen verschillende delen van de wereld. De HCM en dus ook de ROA richtlijnen zijn verkregen aan de hand van meetgegevens in de VS.

## 4 Opzet bepaling weefvakcapaciteiten via simulaties

Slechts in weinig gevallen kan de capaciteit van wegvakken worden gemeten. Voor de bepaling van weefvakcapaciteiten zijn we derhalve vrijwel steeds aangewezen op de simulatiemethode. In dit hoofdstuk komt aan de orde welke typen weefvakken zijn gesimuleerd, welke invloedsfactoren zijn gevarieerd en welk simulatiepakket is gebruikt. Het doel van de simulatiestudie is het vaststellen van de capaciteit van de gekozen weefvakken. Er wordt verder aandacht besteed aan keuzen m.b.t. de inrichting van de weefvakken, de voertuigsamenstelling, de simulatieduur, het verloop van de simulaties en het aantal simulaties per type weefvak.

### 4.1 De gesimuleerde weefvaktypen

Voor de configuratie van een weefvak zijn er vele mogelijkheden. Er kan worden gevarieerd in aantallen stroken bovenstreams van het weefvak, benedenstreams van het weefvak en op het weefvak zelf. Verder kan worden gekozen uit een symmetrische, dan wel a-symmetrische opstelling van de toeleidende rijbanen. In deze studie zullen we ons gezien het beperkte tijdsbudget beperken tot een zevental symmetrische weefvakken van het ROA-type A. De meesten daarvan worden in het Nederlandse autosnelwegennet toegepast. We beschouwen de configuraties met 1+1, 2+1, 3+1, 4+1, 2+2, 3+2 en 4+2 rijstroken, waarvan een overzicht staat in figuur 4.1.1. Weefvakken met 4+2 en 3+2 rijstroken komen in Nederland nog niet voor, maar zijn voor de volledigheid toegevoegd.



**Figuur 4.1.1** Overzicht gesimuleerde weefvakken

### 4.2 De gebruikte invloedsfactoren

De factoren die in deze studie zijn gevarieerd om hun invloed op de capaciteit vast te stellen zijn:

- ' het percentage vrachtverkeer
- ' het aandeel wevend verkeer
- ' de lengte van het weefvak

Om het aantal simulaties enigszins te beperken is per invloedsfactor een beperkt aantal waarden doorgerekend voor elk type weefvak. De gevarieerde invloedsfactoren zullen één voor één worden behandeld.

#### ' **percentage vrachtverkeer**

Door met pae-waarden te werken kan men voorkomen dat telkens een bepaald percentage vrachtverkeer moet worden ingesteld. Dit is een internationaal geaccepteerde methode. Zoals in dit rapport al eerder is gememoreerd (zie paragraaf 2.6.3) is de pae-waarde van vrachtverkeer in verschillende situaties niet constant. In het vervolg is voor de zekerheid gerekend met aantallen voertuigen met een zeker percentage vrachtverkeer. De geschiktheid van een vaste waarde voor de pae van vrachtverkeer kan uit de simulatieresultaten worden gecontroleerd door de aantallen voertuigen bij de capaciteit om te rekenen in pae's. De best passende pae-waarde voor vrachtverkeer kan hiermee tevens worden vastgesteld.

De perioden met de hoogste intensiteiten vallen normaal gesproken samen met de spitsperioden. In deze perioden is het percentage vrachtverkeer in de regel 5 à 10 %. Voor de simulatiestudie is per weefvak de capaciteit bepaald voor drie percentages vrachtverkeer: 5, 10 en 15%. Daarmee kunnen de meest voorkomende situaties worden beschreven.

#### ' **aandeel wevend verkeer**

De belangrijkste factor voor de capaciteit van een weefvak is het aantal voertuigen dat op het weefvak van strook wisselt. Doorgaans drukt men dit uit in de grootte van de wevende stroom. Bij elke waarde van de capaciteit is de grootte van de wevende stroom weer anders en dus niet bruikbaar om capaciteitswaarden onderling direct te vergelijken. Het percentage van de totale verkeersstroom op het weefvak dat weeft is echter wel constant bij verschillende capaciteitswaarden. Bij de simulaties is gekozen voor drie vaste waarden voor het percentage wevend verkeer. De hoogte van de percentages hangt af van de specifieke configuratie. Bij een 1+1 weefvak kan het voorkomen dat 100% van het verkeer weeft (weefvak tussen twee klaverbladlussen). Bij een 2+2 weefvak ligt het percentage wevend verkeer eerder in de orde van 50%. Een overzicht van de gebruikte percentages staat in tabel 4.2.1. *Bij een ongelijke grootte van de toeleidende stromen slaat het percentage wevend verkeer telkens op de kleinste stroom. In absolute zin is de wevende stroom naar de hoofdrijbaan toe steeds even groot als die van de hoofdrijbaan af (zie ook §3.1).*

#### ' **lengte van het weefvak**

Voor elke weefvakconfiguratie zijn vijf lengten onderscheiden. De gebruikte lengtematen voor een configuratie hangen af van het aantal stroken op de toeleidende rijbanen. Op een 2+1 weefvak spelen de meeste weefbewegingen zich af op de eerste 300m, dus kan men aannemen dat boven de 600m de lengte van het weefvak geen invloed meer heeft op de hoogte van de capaciteit. Op een 3+2 weefvak nemen de weefbewegingen meer ruimte in beslag en is voor de grootste gesimuleerde lengte in dit geval 1000m genomen. De gebruikte lengtematen zijn terug te vinden in tabel 4.2.1. Een lengte van 100m bij 1+1 weefvakken en 200m bij 2+1, 3+1 en 4+1 weefvakken komt in de praktijk niet voor i.v.m. bebording en bewegwijzering. Deze lengtematen zijn aan het overzicht toegevoegd om te controleren in hoeverre gesimuleerde capaciteitwaarden het theoretisch verloop volgen.



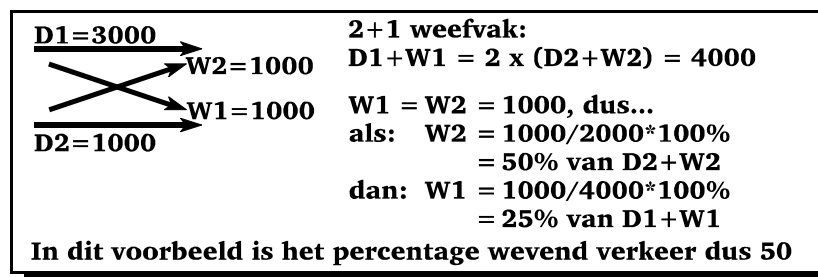
**Tabel 4.2.1** Overzicht van de gebruikte invloedsfactoren bij simulatie van de 7 weefvakconfiguraties

Configuratie	Lengte [m]	% wevend verkeer	% vrachtverkeer
1+1	100,200,300,400,500	50,75,100	5,10,15
2+1	200,300,400,500,600	50,75,100	idem
3+1	200,300,400,500,600	50,75,100	idem
4+1	200,300,400,500,600	50,75,100	idem
2+2	400,500,600,800,1000	25,50,75	idem
3+2	400,500,600,800,1000	25,50,75	idem
4+2	400,500,600,800,1000	25,50,75	idem

= beneden minimum lengte i.v.m. bebording bij ontwerpsnelheid van 120 km/h

De grootte van de snelheidsverschillen tussen de toeleidende rijbanen is niet gevarieerd. Per situatie is een aanname gedaan m.b.t. de grootte van deze snelheidsverschillen. In de volgende paragraaf komt dit aspect nader aan de orde.

Naast de grootte van de wevende stromen speelt de verhouding tussen de grootte van de doorgaande stromen een rol bij de hoogte van de capaciteit. In deze studie is telkens uitgegaan van een gelijkmatige belasting van de toeleidende rijbanen, d.w.z. dat de gemiddelde strookintensiteit op elke rijbaan steeds gelijk is gehouden ( $(D1+W1):(D2+W2)=n1:n2$ , met  $n1$  en  $n2$  = aantal rijstroken voor rijbaan 1 respectievelijk rijbaan 2). Het gevolg is dat de wevende stroom naar links op elk moment even groot is als de wevende stroom naar rechts ( $W1=W2$ ). De weefvakken zijn in die zin dus telkens symmetrisch belast (zie figuur 4.2.1).



**Figuur 4.2.1** Verhouding van de doorgaande en wevende stromen bij simulatie van de weefvakken

### 4.3 Het gebruikte simulatiepakket

De eisen te stellen aan een model waarmee de verkeersafwikkeling op en de capaciteit van weefvakken kan worden nagebootst zijn:

- ' de schaal van de nagebootste processen moet passen bij de schaal van activiteiten op een weefvak
- ' de factoren die van invloed zijn op de verkeersafwikkeling en de capaciteit van een weefvak moeten in de simulatieresultaten tot uitdrukking komen
- ' capaciteit moet een interne grootheid zijn van het simulatiemodel, d.w.z. dat capaciteit een resultante is van de gesimuleerde verkeersprocessen en

geen invoergrootheid.

Gezien de eisen die aan het model worden gesteld komt een microscopisch simulatiemodel het meest in aanmerking. In dit type model wordt de verkeersstroom op het nivo van individuele voertuigen nagebootst. De gesimuleerde verkeersafwikkeling is een resultante van individuele voertuigbewegingen en interacties tussen voertuigen onderling.

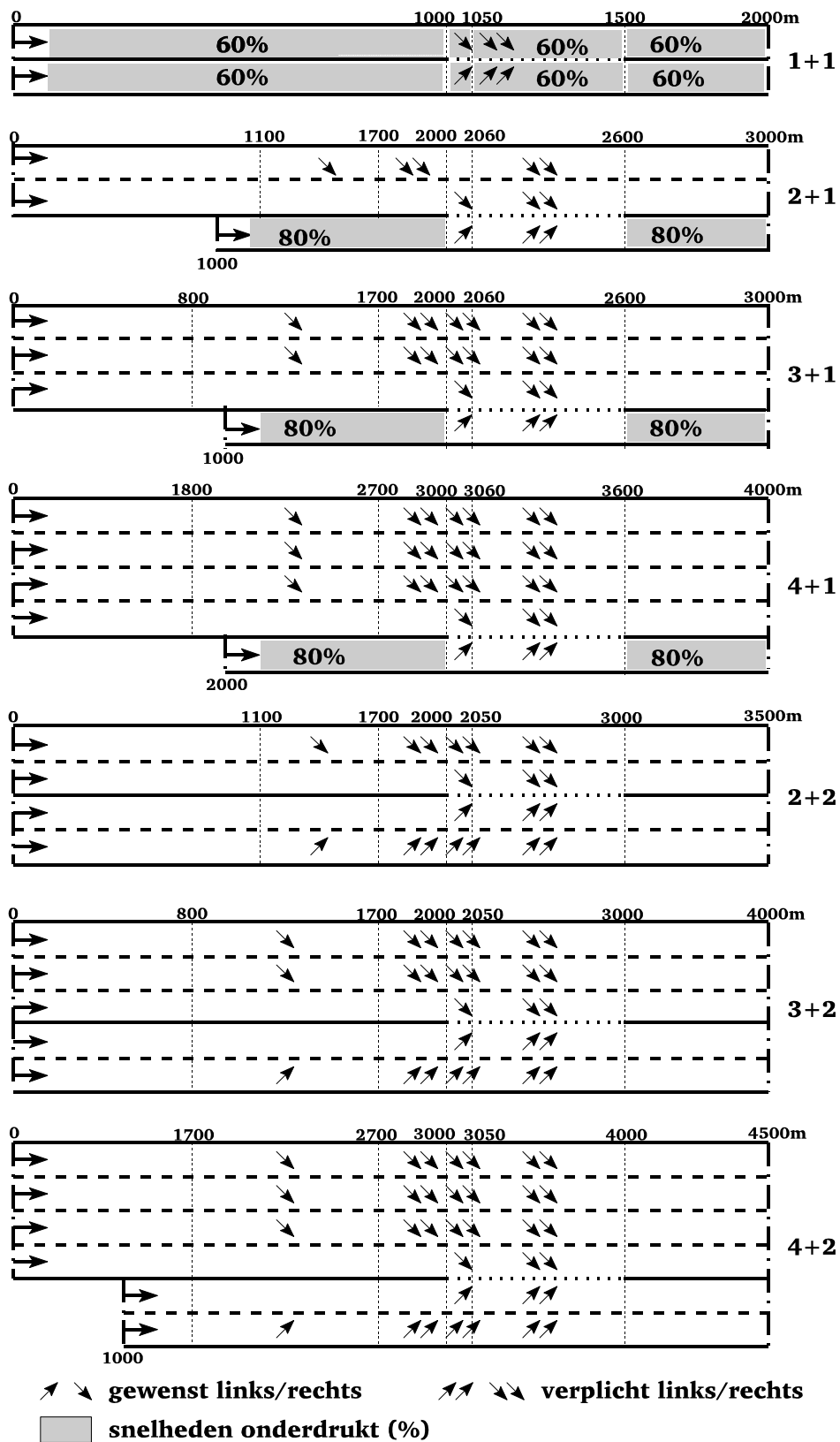
Voor de simulaties in dit onderzoek is gekozen voor het simulatiepakket FOSIM, (Freeway Operations SIMulation, Vermijs, 1992) in de versie 3.0 (Vermijs en Middelham, 1997). Dit microsimulatiemodel is ontwikkeld uit een Amerikaans model (Bullen, 1982) bij het Laboratorium voor Verkeerskunde van de Technische Universiteit Delft in opdracht van Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer. Het model is toegesneden op de verkeersafwikkeling op autosnelwegen in Nederland en gevalideerd voor capaciteitsbepaling van verschillende typen discontinuïteiten zoals weefvakken (Grondmij 1996).

FOSIM maakt het mogelijk verschillende al dan niet complexe situaties na te bootsen. Het gegenereerde verkeer kan zijn samengesteld uit meerdere voertuig-bestuurder-combinatie-typen en de intensiteit kan in de tijd variëren. Bewegingen van en interacties tussen voertuigen worden geregeld door een aantal volg- en strookwisselmodellen. De situatie op het gesimuleerde wegvak wordt elke tijdstap van 0,5 s herberekend. Aangezien een aantal zaken in het model d.m.v. loting tot stand komt spreken we van een stochastisch model. Verschillende simulatieresultaten voor eenzelfde situatie worden verkregen door verschillende startwaarden voor de randomgenerator te gebruiken.

#### 4.4 Inrichting van de wegvakken

De zeven onderzochte weefvaktypen (zie figuur 4.4.1) zijn elk opgenomen in een wegvak waarvan de lengte afhangt van het aantal stroken op de toeleidende rijbanen en de lengte van het weefvak. De lengte van het wegvak bovenstrooms van het weefvak in kwestie is zó gekozen dat het verkeer vanaf de voedingspunten voldoende tijd heeft gehad om te clusteren en een stabiele verdeling over de rijstroken te bewerkstelligen. Bij rijbanen met meerdere stroken is deze bovenstroomse lengte groter dan bij enkelstrooks rijbanen. Tijdens een simulatie wordt dit deel van het wegvak gebruikt om de file te bergen die is ontstaan na het bereiken van de capaciteit.

In de wegvakken is een aantal secties onderscheiden. Belangrijke sectiegrenzen naast begin- en einddoorsnede van het wegvak, zijn begin- en einddoorsnede van het weefvak. Daarnaast zijn er sectiegrenzen aangegeven die een overgang in het strookwisselgedrag markeren. Het belangrijkste onderscheid in gewenst en verplicht strookwisselen, is de haast waarmee een bestuurder een strookwisseling wenst uit te voeren. De grenzen voor het verplicht en gewenst strookwisselen die in figuur 4.4.1 zijn aangegeven zijn enigszins arbitrair, maar wel gekozen met kennis en ervaring uit alle voorgaande simulatiestudies die met FOSIM zijn verricht.



Figuur 4.4.1

Voorbeeld inrichting van de gesimuleerde weefvakken

De weefvakken van het type 1+1, 2+1, 3+1 en 4+1 hebben op het weefvak een sectie gewenst strookwisselen ter grootte van 10% van de totale weefvaklengte. Bij de overige weefvakken heeft deze sectie een vaste lengte van 500m.

Stroomopwaarts van het weefvak zijn secties gewenst en verplicht strookwisselen ingericht die te maken hebben met voorsorteren. Hun lengte is afhankelijk van de (mogelijke) plaatsing van route-aanduidingen langs de weg.

Bij een aantal wegvakken zijn (lokaal) de snelheden onderdrukt met een percentage van de wenssnelheden van de bestuurders. Bij het 1+1 weefvak zijn voor het gehele wegvak de snelheden onderdrukt tot 60% van de wenssnelheden. Dit weerspiegelt op een enigszins groffe wijze een situatie van een weefvak tussen twee lussen van een klaverblad in. In het algemeen vindt men dit soort weefvakken in verbindingswegen van knooppunten (klaverbladen), alwaar de gemiddelde snelheden door krappe boogstralen beduidend lager zijn dan op een normale hoofdrijbaan van een autosnelweg. Bij de 2+1, 3+1 en 4+1 weefvakken zijn de snelheden slechts onderdrukt op de toe- en afritten, die vaak met een krappere boogstraal zijn uitgevoerd dan de hoofdrijbaan van een autosnelweg, danwel afkomstig zijn van het onderliggend (niet autosnelweg-) netwerk.

Elk van de gesimuleerde wegvakken is voorzien van twee meetraaien waarop verkeersgegevens worden verzameld. Per strook en voor alle stroken samen worden snelheid, intensiteit en dichtheid bepaald. Op de meetraai bovenstreams van het weefvak kan men constateren of er congestie optreedt, afhankelijk van een snelheidscriterium (in dit geval 50 km/h). Op de raai benedenstreams van het weefvak meet men de hoogst opgetreden intensiteit en na enige tijd congestie de afrij-intensiteit.

## 4.5 De verkeerssamenstelling

Het verkeer dat tijdens de simulaties gegenereerd wordt bestaat uit vijf voertuigbestuurder-combinaties (kortweg voertuigtypen): drie personenauto-typen en twee typen vrachtwagens. Voor elk type kan men een aantal zaken instellen. In deze studie is gebruik gemaakt van een set voertuigtypen die in eerdere simulatiestudies zijn waarde heeft bewezen (zie o.a. Schuurman en Vermijs 1993, 1994). Een paar eigenschappen die met het volgedrag te maken hebben zijn aangepast aan de resultaten van de validatiestudie door Grontmij (1996), leidend tot FOSIM versie 3.0. In tabel 4.5.1 staat een overzicht van alle eigenschappen van de gebruikte voertuig- bestuurder-combinaties.

De wenssnelheden weerspiegelen een gemiddelde set voor zowel autosnelwegen met een snelheidslimiet van 100 km/h als die met een snelheidslimiet van 120 km/h. Deze gevallen zijn in deze simulatiestudie niet apart onderscheiden.

**Tabel 4.5.1** Instellingen voertuig-bestuurder-combinaties

volgnummer	1	2	3	4	5
<b>eigenschap</b>					
voertuiglengte [m]	4,5	4	4	8	14
wenssnelheid [km/h]	120	110	100	95	85
volgfactor z1 [m] *)	3	3	3	3	3
volgfactor z2 [s]	0,56	0,72	1,28	2,08	2,23
volgfactor z3 [s <sup>2</sup> /m]	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
max. acceleratiesprong per tijdstap [m/s <sup>2</sup> ]	1	0,6	0,6	0,5	0,4
max. acceleratie [m/s <sup>2</sup> ]	4	2,4	2,4	1	0,5
max. volgdeceleratie [m/s <sup>2</sup> ]	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
max. strookwisseldeceleratie [m/s <sup>2</sup> ]	-3	-2,4	-2,4	-2	-1,6
max. deceleratie [m/s <sup>2</sup> ]	-6	-6	-6	-6	-6

\*) de netto volgafstand van een voertuig  $i$  wordt bepaald uit  $d_i = z1 + z2 \times v_i + z3 \times a_i \times v_i^2$ , met  $v_i$  = snelheid van  $i$  [m/s]

Per voedingspunt dient men aan te geven welk percentage van een bepaald type per tijdseenheid moet worden aangemaakt. Bij meerstrooks rijbanen is een preselectie gemaakt naar verdeling van voertuigtypen over de rijstroken. Op de linker strook wordt voornamelijk type 1 aangemaakt, op de rechter strook al het vrachtverkeer (typen 4 en 5). Een rustiger verkeersbeeld bij de voedingspunten is het gevolg. Het aandeel vrachtverkeer bestaat telkens uit gelijke delen type 4 en 5, het personenautoverkeer uit gelijke aantallen type 1, 2 en 3.

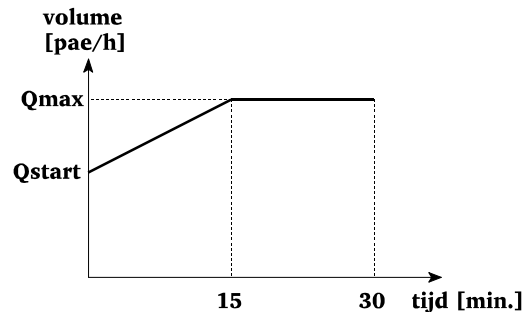
## 4.6 Het verloop van het verkeersaanbod tijdens een simulatie

Het doel van een enkele simulatie is het bepalen van de capaciteit en de afrij-intensiteit van een weefvak. Het verloop van het nagebootste verkeersaanbod moet dus zodanig zijn dat congestie optreedt op en bovenstrooms van het weefvak. Per weefvakconfiguratie is vooraf ingeschat bij welke intensiteit filevorming ontstaat. De snelheid waarmee het verkeersaanbod per tijdseenheid toeneemt, ligt in de praktijk in de orde van 100 à 300 mvt/h/str per 5 minuten. Dit is een gemiddelde waarde over de rijbaan, per strook kan deze waarde nog wat verschillen. Het gebruikte verloop van het verkeersaanbod tijdens de simulaties staat in figuur 4.6.1.

De eerste minuten van een simulatie zijn nodig om het wegvak vanaf de voedingspunten geheel te vullen met voertuigen. Voor een wegvak met een lengte van 5 km duurt dit ongeveer 200 s.

Als bij toenemende intensiteit de capaciteit wordt bereikt, wordt dit waargenomen door een daling van de snelheden op de bovenstroomse meetraai. Als de over alle stroken gemiddelde snelheid kleiner is dan 50 km/h, neemt het model aan dat de

capaciteit is bereikt. De tot dan toe hoogst gemeten intensiteit op de benedenstroomse meetraai is de capaciteit.



**Figuur 4.6.1** Verloop van het verkeersaanbod tijdens een simulatie

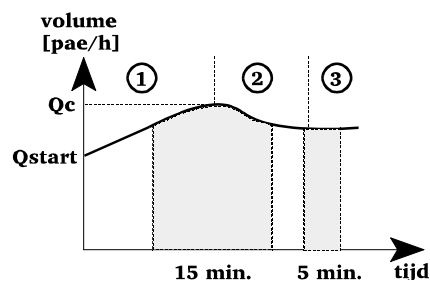
Na het bereiken van de capaciteit gaat de simulatie nog 10 minuten door, waarna nogmaals de intensiteit benedenstrooms van het weefvak wordt vastgelegd, zijnde de afrij-intensiteit. Men dient echter aan de waarde van de afrij-intensiteit door FOSIM bepaald niet dezelfde waarde toe te kennen als aan de waarde van de capaciteit. FOSIM is gevalideerd voor bepalen van de capaciteit vanuit vrije verkeersafwikkeling, niet voor congestieve verkeersafwikkeling. De afrij-intensiteiten kunnen worden gebruikt voor een kwalitatieve vergelijking van de weefvakconfiguraties.

## 4.7 De aggregatieperiode

Het gesimuleerde verloop van de intensiteit op een doorsnede benedenstrooms van een weefvak ziet er typisch uit als in figuur 4.7.1.

De totale meetperiode valt uiteen in drie delen:

- ① Toenemende intensiteit tot capaciteit
- ② van Capaciteit naar afrij-intensiteit
- ③ afrij-intensiteit



**Figuur 4.7.1** Intensiteitsverloop benedenstrooms van een weefvak

De periode met de hoogste gemiddelde waarde van de intensiteit levert de capaciteit. In de praktijk worden veelal aggregatieperioden van 15 minuten gebruikt (zie ook Transpute, 1996).

Verschillen tussen aggregatie naar perioden van verschillende tijdsduur worden veroorzaakt door:

- ' Intensiteitsflux bij toename van de intensiteit in periode 1
- ' Het verschil tussen capaciteit en afrij-intensiteit
- ' De intensiteitsflux bij afname van de intensiteit in periode 2
- ' Het startmoment van de aggregatieperioden t.o.v. het moment waarin de capaciteit wordt bereikt.

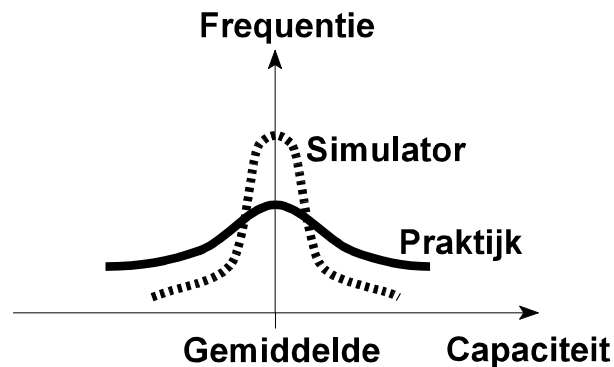
Er bestaat geen duidelijkheid over het optreden van een capaciteitsval na het ontstaan van congestie op een weefvak in de praktijk. Indien men een weefvak met FOSIM simuleert is in elk geval zeker sprake van een capaciteitsval. Bij het bepalen van de capaciteit vanuit vrije afwikkeling moet men zo weinig mogelijk informatie putten uit deze periode met dalende intensiteit. Aangezien men niet precies weet wanneer congestie gaat optreden, dient de aggregatieperiode zo kort mogelijk te zijn.

FOSIM-simulaties resulteren meestal in een hogere capaciteit dan afrij-intensiteit. Dit kan een aantal oorzaken hebben:

- ' Doordat vlak voor het bereiken van de capaciteit een aantal bestuurders niet in staat is de juiste strook van bestemming te bereiken, is het percentage wevend verkeer wat lager dan bedoeld. De capaciteit kan hierdoor te hoog uitvallen. Onder congestieve omstandigheden zijn de gemiddelde snelheden dermate laag, dat alle bestuurders hun strook van bestemming tijdig kunnen bereiken. Dit effect speelt met name bij zeer korte weefvakken een rol. Bij het samenstellen en testen van de invoerbestanden (a.d.h.v. resultaten van proefsimulaties) is dit effect klein gebleken.
- ' Het weefproces verloopt bij lage snelheden wat moeizamer dan bij hoge snelheden, doordat de volgafstanden en dus de hiaten tussen de voertuigen klein zijn.
- ' FOSIM is niet ontwikkeld en gevalideerd voor simulatie van congestief verkeer. Het is mogelijk dat het model een congestieve verkeersstroom niet juist weergeeft (Dijker, Bovy, Vermijs, 1997).

In het vervolg van deze studie zijn de waarden van de afrij-intensiteiten slechts gebruikt ter controle van de correctheid van het simulatieverloop. Door de onzekerheid waarmee de gesimuleerde afrij-intensiteiten zijn omgeven, zijn ze verder niet verwerkt.

Voor deze studie is een aggregatieperiode van 5 minuten genomen als optimum tussen onderscheidend vermogen en vertaalbaarheid naar praktijkwaarden. Hierbij dient men in acht te nemen dat de condities in een simulator constanter zijn dan in de praktijk (kleinere variatie in verkeersaanbod en geen variatie in omgevingscondities, zie figuur 4.7.2) en het aantal simulaties groot (kleine invloed van enkele extreme capaciteitswaarden).



**Figuur 4.7.2** *Gemeten en gesimuleerde frequentieverdelingen van de capaciteit*

## 4.8 Het aantal simulaties per weefvakconfiguratie

FOSIM is een stochastisch model. Door verschillende startwaarden van de randomgenerator te gebruiken verkrijgt men verschillende simulatieresultaten. Uitgaande van capaciteit als zijnde een stochastische grootte, zijn een aantal simulaties nodig om gemiddelde en spreiding te kunnen bepalen.

In het validatie-onderzoek van Grontmij (1996) is gesteld dat 15 simulaties voldoende zijn voor een betrouwbare uitspraak over de capaciteit. In dat onderzoek is men ervan uitgegaan dat capaciteitswaarden van een weefvak normaal verdeeld zijn. Zeker voor de uiterste waarden van de verdeling kan dat per definitie niet zo zijn, vanwege de fysieke beperkingen van een verkeersstroom. Voor een goede betrouwbaarheid van de resultaten, ook in de uiterste grenzen van de capaciteitsverdeling, is gekozen voor 100 simulaties per weefvakconfiguratie.

Van elk van de 7 weefvakconfiguraties zijn 3 percentages wevend verkeer, 3 percentages vrachtverkeer en 5 lengten gecombineerd. Gerekend met 100 simulaties per combinatie levert dat samen  $7 \times 5 \times 3 \times 3 \times 100 = 31.500$  simulaties, elk met een capaciteit en een afrij-intensiteit als resultaat.



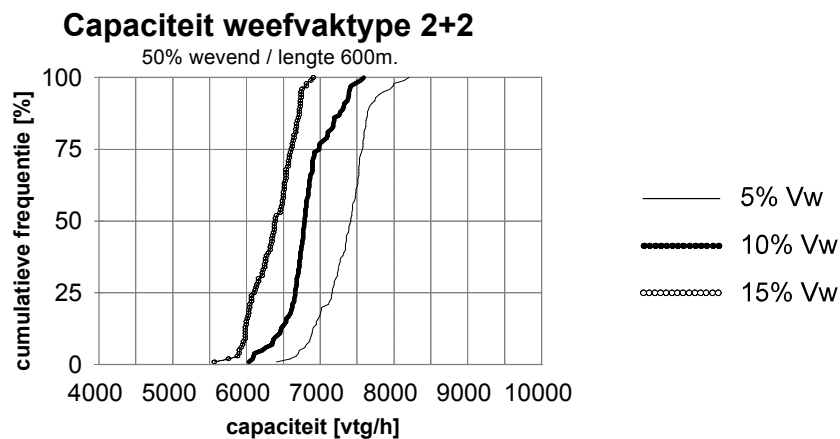
## 5 Bevindingen weefvakcapaciteit verkregen uit simulaties

In dit hoofdstuk zal een overzicht worden gegeven van de simulatieresultaten. Er zal verder worden ingegaan op de wijze waarop de resultaten in handzame figuren kunnen worden gegoten.

### 5.1 Overzicht van alle simulatieresultaten

#### 5.1.1 Capaciteitsverdelingen

Voor de weergave van 100 capaciteitswaarden per combinatie van invloedsfactoren is gekozen voor een cumulatieve frequentieverdeling zoals te zien in figuur 5.1.1.



**Figuur 5.1.1** *Cumulatieve frequentieverdelingen van capaciteiten voor verschillende percentages vrachtverkeer*

In het voorbeeld van figuur 5.1.1 zijn de krommen samengesteld uit honderd verbonden punten; elk punt op een kromme is een simulatieresultaat. Een overzicht van alle 315 gesimuleerde cumulatieve frequentieverdelingen staan in bijlage 1.

In het algemeen zien we in bijlage 1 parallel lopende frequentieverdelingen voor de drie percentages vrachtverkeer. De hoogste waarden worden volgens verwachting gevonden bij een percentage vrachtverkeer van 5%. De enige uitzondering op deze regel vindt men bij het 3+1 weefvak met 100% wevend verkeer en een lengte van 200, 300 en 400m. Door de hoge intensiteiten bij aanvang van de simulatie met 5 en 10% vrachtverkeer treedt er in een zeer vroeg stadium congestie op, nog voor de verkeersstroom zich op alle stroken goed heeft kunnen ontwikkelen. De gevonden capaciteitswaarden zijn hierdoor aan de lage kant. Het probleem kan worden verholpen door in de simulatie een aanlooperperiode te nemen met lagere intensiteiten, zoals dat in de simulatie met 15% vrachtverkeer is gebeurd.

In vergelijking met de capaciteit van van rechte wegvakken (volgens de ROA geldt 2200 pae/strook onder ideale omstandigheden), is de gesimuleerde capaciteit van een weefvak met een vergelijkbaar aantal stroken in de orde van 10 tot 40% lager. De capaciteit van een weefvak is sterk afhankelijk van de grootte van de wevende stroom. Wevende stromen die in de praktijk zijn waargenomen (zie hoofdstuk 3) geven een capaciteitsreductie van ca. 10 tot 20% t.o.v. een recht wegvak. Als voorbeeld geldt hier een weefvak type 2+2 met een percentage wevend verkeer van 50, 10% vrachtverkeer en een lengte van 800m. De mediaan van de capaciteit ligt bij 6800 mvt/h = 7480 pae/h. Dit is 85% van 8800 pae/h, zijnde de capaciteit van vier doorgaande stroken. In het geval van het 1+1 weefvak, waar de snelheden in de simulaties aanzienlijk zijn onderdrukt, is de capaciteit bij een kleine weefvaklengte en een grote wevende stroom wel 50% lager dan die van een recht wegvak.

Trends in gesimuleerde weefvakcapaciteiten met toenemende weefvaklengte, percentage vrachtverkeer en percentage wevend verkeer komen in § 5.2 aan de orde.

### 5.1.2 Normaliteit van de capaciteitsverdelingen

Van capaciteitswaarden wordt vaak verondersteld dat zij normaal verdeeld zijn. Met behulp van een statistische toets kan dit worden gecontroleerd. In deze studie is gebruik gemaakt van de Kolmogorov-Smyrnov toets. Essentieel aan deze toets is dat de cumulatieve frequentieverdeling van twee verdelingen wordt vergeleken, waarbij het maximale verticale verschil  $Dks$  in elk punt kleiner moet zijn dan een grenswaarde. Het voordeel van deze toets is dat de twee frequentieverdelingen die worden vergeleken voor het hele waardenbereik goed passen, als ze voor de toets slagen. Tabel 5.1.1 geeft een overzicht van een aantal statistische kenmerken van een selectie uit de zeven weefvaktypen.

Van elk type weefvak zijn drie combinaties van weefvaklengte en verkeersbelasting getoetst. Eén waarbij een hoge, één waarbij een lage en één waarbij een “gemiddelde” capaciteit wordt bereikt.

De geselecteerde weefvakken hebben volgens de Kolmogorov-Smyrnov-toets allen een normaal verdeelde capaciteitsverdeling ( $Dks$  is steeds kleiner dan de grenswaarde). Zoals verwacht is het verschil tussen de mediaan en het rekenkundig gemiddelde van 100 capaciteitswaarden steeds klein. De spreiding in de capaciteit van de weefvaktypen met één aanliggende strook is relatief groter dan die bij de weefvakken met twee aanliggende stroken (2+2, 3+2 en 4+2). De verklaring hiervoor is dat het weefproces bij de kleinere typen een minder overheersende en daarmee wisselender rol speelt bij het ontstaan van congestie.

**Tabel 5.1.1** Statistische kenmerken van een aantal capaciteitsverdelingen,  $N=100$ 

weefvak type	lengte [m]	wevend verkeer %	vracht-wagens %	max Dks *)	grens-waarde **=0,01 **)	mediaan capaciteit [mvt/h]	gemiddelde capaciteit [mvt/h]	spreiding capaciteit [mvt/h]
1+1	500	50	5	0,00664	0,163	3012	3015	127
1+1	500	75	10	0,7276	0,163	2580	2580	116
1+1	100	100	15	0,01058	0,163	2088	2087	99
2+1	600	50	5	0,00872	0,163	6324	6341	271
2+1	600	75	10	0,09630	0,163	5556	5516	240
2+1	200	100	15	0,01269	0,163	4434	4383	263
3+1	600	50	5	0,00799	0,163	8688	8681	310
3+1	600	75	10	0,08820	0,163	7380	7345	407
3+1	200	100	15	0,01199	0,163	5664	5633	287
4+1	600	50	5	0,01151	0,163	11136	11050	344
4+1	600	75	10	0,12001	0,163	9108	9001	508
4+1	200	100	15	0,00787	0,163	6396	6344	311
2+2	1000	25	5	0,01147	0,163	9000	9866	262
2+2	1000	50	10	0,08739	0,163	6858	6899	324
2+2	400	75	15	0,01487	0,163	5130	5069	228
3+2	1000	25	5	0,00651	0,163	11370	11379	273
3+2	1000	50	10	0,11039	0,163	8676	8600	375
3+2	400	75	15	0,00679	0,163	6066	6025	358
4+2	1000	25	5	0,00818	0,163	13704	13679	294
4+2	1000	50	10	0,09731	0,163	9936	10008	367
4+2	400	75	15	0,00889	0,163	6972	6990	288

\*) Vertikale afstand tussen gesimuleerde en normale verdeling

\*\*) Betrouwbaarheidsinterval bij de Kolmogorov-Smyrnov-toets

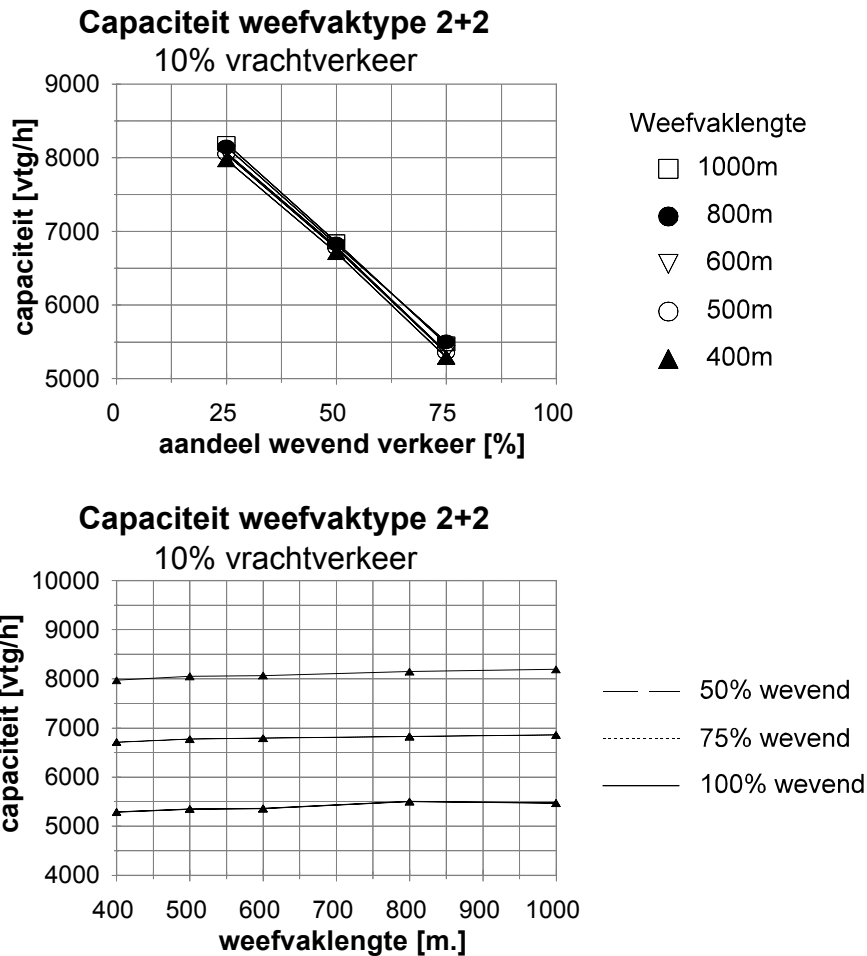
## 5.2 Capaciteitsdiagrammen

### 5.2.1 Keuze van de vorm en de variabelen

Door uit te gaan van telkens één punt uit de cumulatieve frequentieverdeling van capaciteitswaarden voor een weefvaktype kunnen de simulatieresultaten worden samengevat in zogenaamde capaciteitsdiagrammen. In deze studie is uitgegaan van de mediaan van de capaciteitswaarden. Een andere waarde, zoals de 5% ondergrens, is ook denkbaar. Men moet zich daarbij wel bedenken dat de gevonden capaciteitsverdeling in de buurt van de uiterste waarden wat minder betrouwbaar is. De mediaan is verkozen boven het rekenkundig gemiddelde om dezelfde reden, hoewel verschillen tussen beide grootheden klein zijn (zie §5.1.2). De kans op extreme waarden bij de gekozen aggregatieperiode van 5 minuten is groter dan bij een wat langere periode. De ligging van de mediaan is bij een voldoende grote steekproef niet afhankelijk van de grootte van deze

aggregatieperiode.

In principe zijn een tweetal mogelijkheden voor plaatsing van variabelen op de assen, zoals eerder uiteengezet in §2.6.5. Van beide mogelijkheden, capaciteit uitgezet tegen de wevende stroom en de capaciteit uitgezet tegen de weefvaklengte, is in figuur 5.2.1 een voorbeeld gegeven. Hierbij is uitgegaan van een weefvak type 2+2.



**Figuur 5.2.1** Twee mogelijkheden voor het presenteren van gesimuleerde weefvakcapaciteiten

In figuur 5.2.1 ziet men dat de weefvaklengte nauwelijks van invloed is op de weefvakcapaciteit. Bij de kleinere weefvaktypen (1+1, 2+1, 3+1, 4+1) is deze invloed er wel degelijk, zoals o.a. blijkt uit de frequentieverdelingen van bijlage 1.

Het diagram waarin de capaciteit is uitgezet tegen de weefvaklengte maakt het duidelijkst onderscheid tussen de verschillende capaciteitswaarden en is voor deze studie derhalve gekozen als capaciteitsdiagram. In het geval de weefvaklengte van ondergeschikt belang wordt geacht, is een keuze voor de andere variant echter voorstelbaar (er is op het moment van het verschijnen van dit rapport binnen het Platform Wegontwerp van Rijkswaterstaat nog discussie over vorm en uitvoering

van capaciteitsdiagrammen).

Voor het vergelijken van capaciteitsverbanden van verschillende weefvakken gebruiken we de grootte van de wevende stroom als verklarende variabele.

### 5.2.2 Resultaten

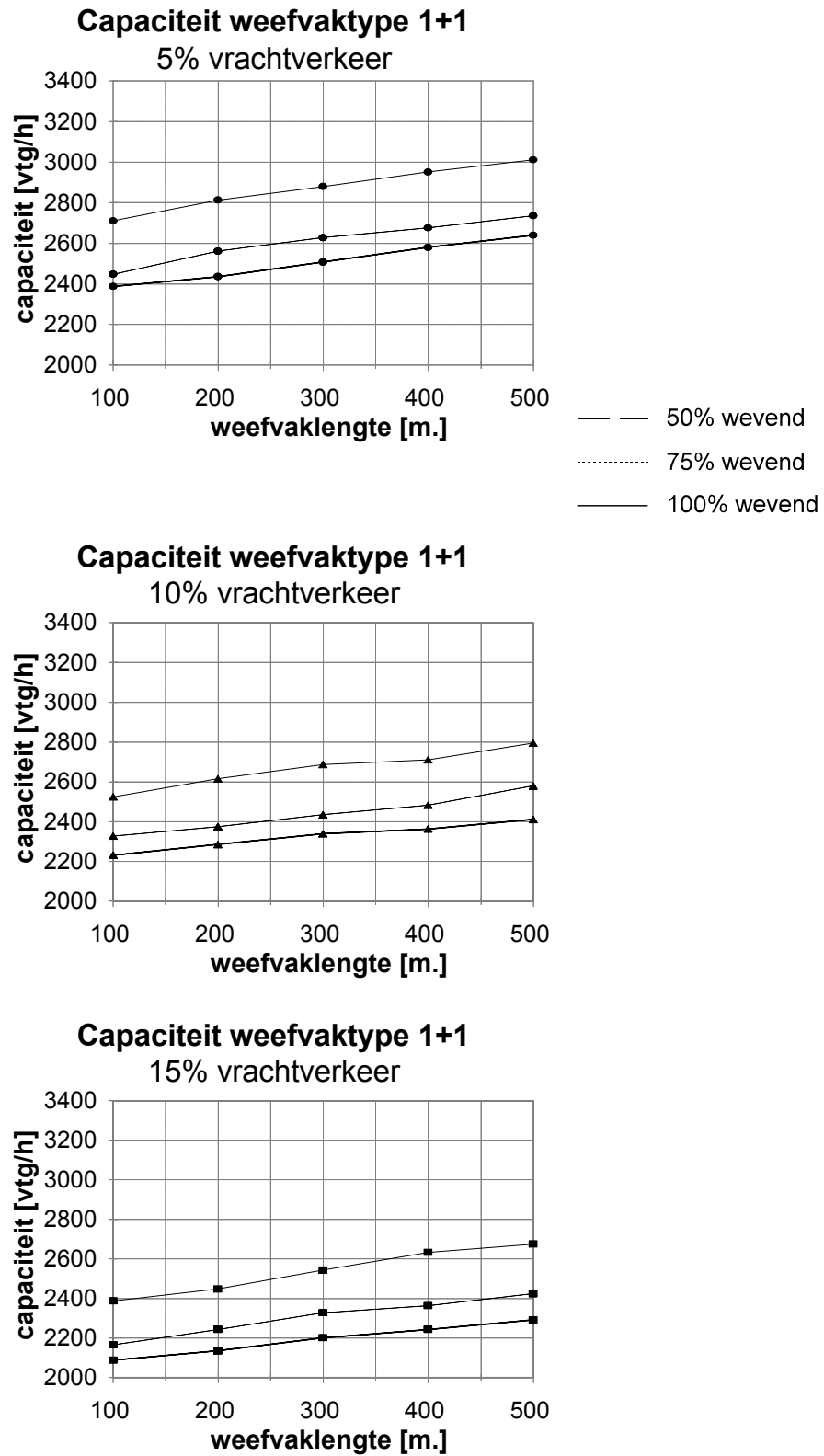
Een voorbeeld van een drietal capaciteitsdiagrammen verkregen uit simulatie-resultaten staat in figuur 5.2.2. Voor elk van de gesimuleerde percentages wevend verkeer zijn 5 capaciteitswaarden gegeven, verbonden door rechte lijnen. Voor elk percentage wevend verkeer geldt een capaciteitsdiagram.

Duidelijk is te zien dat bij het toenemen van het percentage vrachtverkeer de capaciteit daalt. Hetzelfde geldt voor het percentage wevend verkeer. Indien het aandeel wevend verkeer toeneemt van 50% naar 75% dan is de capaciteitsdaling groter dan bij een toename van 75 naar 100% (bij 1+1 weefvak). Het marginale effect van het aandeel wevend verkeer neemt dus af bij toename van dit aandeel. De verwachting is dat dit marginale effect juist zou toenemen (zie § 2.6.5). Een reden is niet direct voorhanden en vraagt derhalve om nader onderzoek.

De overige capaciteitsdiagrammen staan in bijlage 2.

Bij de weefvakken waarvan één van de toeleidende rijbanen uit 1 strook bestaat is een veel duidelijker invloed van de lengte op de hoogte van de capaciteit merkbaar dan bij de grotere weefvakken. De gemiddeld geringere lengte heeft hier een grote invloed. Bij de kortste configuraties (100m) kan men vraagtekens zetten bij de betrouwbaarheid van de simulatieresultaten. Uiteindelijk moet bij een weefvaklengte nul de capaciteit ook gelijk aan nul zijn. De capaciteitswaarden neigen echter bij deze korte weefvakken niet sterk in deze richting.

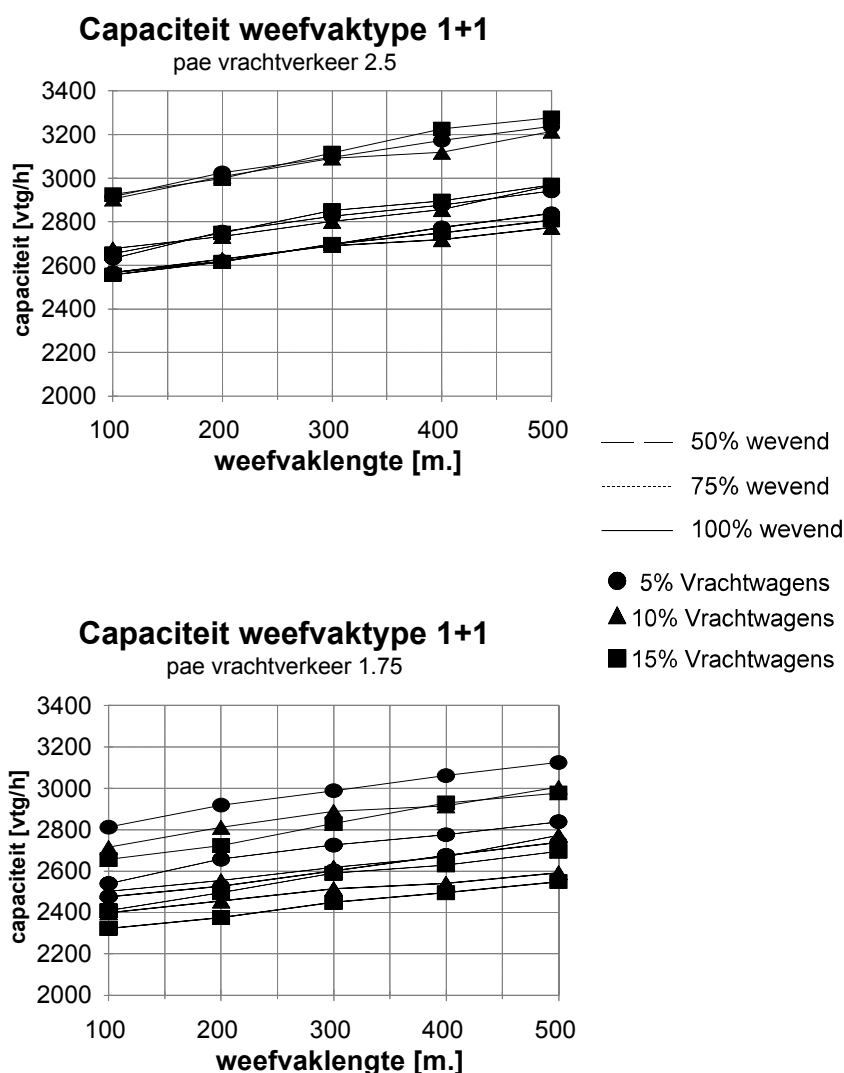
Bij de grote weefvakken is de invloed van de lengte op de waarde van de capaciteit niet groot. Dit ligt geheel in de lijn der verwachtingen, aangezien het weefproces zich in de eerste honderden meters van het weefvak afspeelt.

**Figuur 5.2.2**

Capaciteitsdiagrammen 1+1 weefvak voor verschillende percentages vrachtverkeer

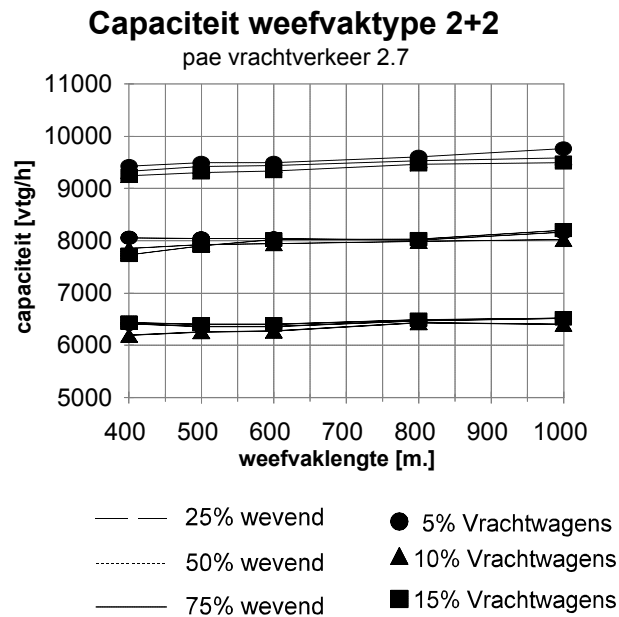
### 5.3 De pae-waarde van vrachtverkeer

De capaciteitsdiagrammen uit figuur 5.2.1 kunnen worden gecombineerd tot één enkel diagram, als men aanneemt dat vrachtverkeer een vaste pae-waarde heeft. Door een aantal pae-waarden te proberen is per weefvak-configuratie een waarde gevonden, waarbij de punten voor de verschillende percentages wevend verkeer zoveel mogelijk samenvallen. Daarnaast zijn diagrammen gemaakt op basis van pae-waarden volgens de ROA (1,5 voor licht vrachtverkeer en 2,0 voor zwaar vrachtverkeer; bij gelijke aandelen licht en zwaar vrachtverkeer samen 1,75).



**Figuur 5.3.1** Capaciteitsdiagrammen in pae/h, beste schatting (pae=2,5) en volgens de ROA (pae=1,75), voor een 1+1 weefvak.

Bij het 2+2 weefvak past de pae-waarde van 2,7 goed (figuur 5.3.2). Bij de andere grotere weefvakken (3+2, 4+2) worden vergelijkbare waarden gevonden (2,8 resp. 2,9). Het 1+1 weefvak uitgezonderd past bij de kleinere weefvakken eigenlijk een waarde van > 3 beter, hoewel ook dan de capaciteitswaarden voor de verschillende percentages vrachtverkeer soms matig overeenkomen.



**Figuur 5.3.2** Capaciteitsdiagram 2+2 weefvak met pae=2.0

Het hanteren van pae-waarden voor vrachtverkeer gaat bij het bepalen van weefvakcapaciteiten niet zonder meer op. Alleen indien men een foutenmarge van ca. 10% accepteert kan worden gewerkt met de pae-waarden zoals die in de ROA zijn voorgesteld. De afwijking van de gemiddelde waarde van de capaciteit is in dat geval bij de grote weefvaktypen het kleinst. Alle gevonden pae-waarden zijn hoger dan de waarden die de ROA hanteert. Een nader onderzoek van de invloed van pae-waarden op de capaciteit van weefvakken is op zijn plaats, aangezien bij de dimensionering van verkeersinfrastructuur veelvuldig met pae-waarden wordt gewerkt.

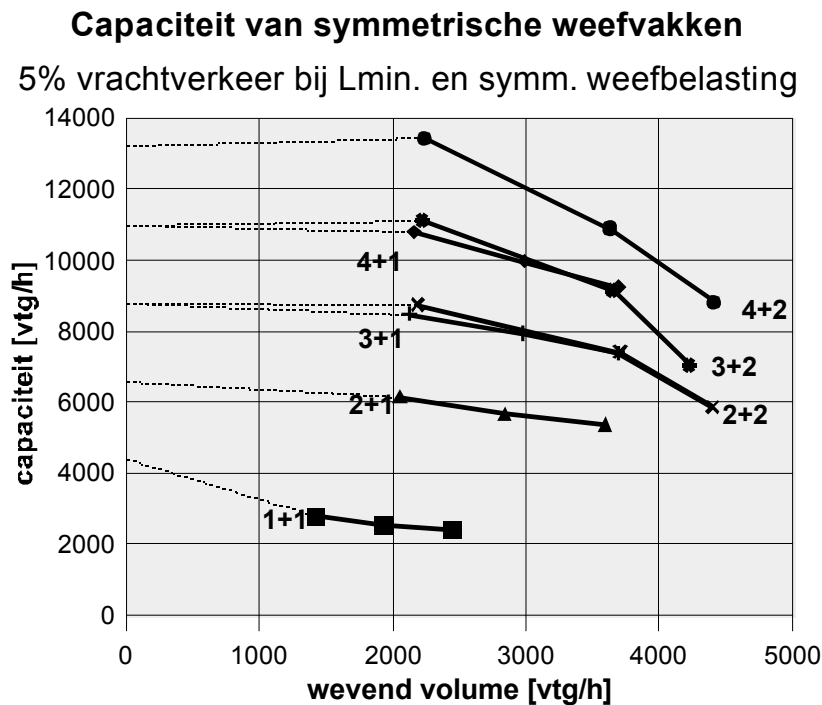
## 5.4 Verzameldiagram voor de capaciteit van symmetrische weefvakken

Bij het dimensioneren van weefvakken is het wenselijk om snel inzicht te hebben in het type weefvak dat voor een gegeven situatie optimaal is. Dat kan het best als de capaciteitswaarden van de verschillende typen direct met elkaar kunnen worden vergeleken. Genoeg reden om de gevonden capaciteitsverbanden in één enkel figuur onder te brengen. Gezien de hierboven beschreven pae-problematiek is het beter per percentage vrachtverkeer de capaciteitsverbanden voor alle onderzochte typen bij elkaar te zetten.

De invloed van de lengte van een weefvak op de capaciteit is, zeker voor de wat grotere configuraties, gering. We kunnen de resultaten van alle gesimuleerde capaciteitswaarden in één figuur onderbrengen, als we uitgaan van een weefvaklengte die representatief is voor een configuratie. We nemen voor de weefvaklengten waarden die in de praktijk ook voorkomen. Een lengte van 100m is i.v.m. bebording en bebakenig niet toegestaan. Voor alle weefvakken is de minimaal toegestane lengte  $L_{min}$  gekozen. Voor weefvakken van het type 1+1,



2+1, 3+1 en 4+1 is dat respectievelijk: 200m, 300m, 400m en 500m. Voor de overige weefvakken (2+2, 3+2, 4+2) is de minimum lengte 500m. Een en ander resulteert in een verzameldiagram zoals in figuur 5.4.1. De percentages wevend verkeer zijn omgerekend naar volumes om de weefvakken onderling goed te kunnen vergelijken.



**Figuur 5.4.1** Verzameldiagram voor weefvakcapaciteiten bij 5% vrachtverkeer, Lmin en symmetrische weefbelasting

In het verzameldiagram zien we per type weefvak drie capaciteitspunten die het resultaat zijn van simulaties. De waarden zijn verbonden door rechte lijnen zodat een idee ontstaat van het verloop van de capaciteit als functie van het volume wevend verkeer. De verbanden zijn tevens d.m.v. een gestippelde lijn verbonden met een punt op de y-as. Dit punt weerspiegelt de capaciteit van een weefvak zonder wevend verkeer. Hiervoor is bij 5% vrachtverkeer aangenomen: het aantal stroken maal 2200 vtg/h (bij 10 en 15% vrachtverkeer resp. 2200 en 2100 vtg/h). Deze aanname is gebaseerd op praktijkwaarden voor de capaciteit (v. Toorenburg, 1986). In de simulator kan men, in tegenstelling tot de praktijk, volkomen bottleneck-vrije situaties creëren, hetgeen tot hoge gesimuleerde capaciteiten leidt. Dit is goed te zien aan het capaciteitsverloop van een 4+2 weefvak, waar de capaciteit bij een wevend volume van ca. 2200 mvt/h hoger is dan die van 6 rijstroken (maal 2200 mvt/h) zonder wevend verkeer.

We zien dat de meeste capaciteitslijnen een verloop kennen zoals dat eerder in figuur 2.6.3 is geschetst. Het capaciteitsverband van het 1+1 weefvak is voor wat betreft ligging min of meer een buitenbeentje. De verklaring hiervoor ligt in het feit dat de snelheden bij de simulaties in dit geval op het gehele wegvak zijn onderdrukt.

Het effect van een zeker wevend volume neemt toe met het aantal stroken van een weefvak. In het diagram kan men dat zien aan de toenemende helling van de capaciteitsverbanden bij toenemend aantal stroken.

De capaciteitsverbanden voor weefvakken van een verschillende type maar met een gelijk aantal stroken vallen voor een deel samen. Vergelijk in dit verband de weefvakken van het type 2+2 met 3+1 en 3+2 met 4+1.

Ook voor 10 en 15% vrachtverkeer zijn verzameldiagrammen gemaakt. Ze zijn te vinden in bijlage 3.

Het verzameldiagram met weefvakcapaciteiten geeft een eerste indruk van de geschiktheid van een weefvaktype bij een gegeven wegvakbelasting. De capaciteitsverbanden in het diagram geven de grens aan van combinaties doorgaand en wevend verkeer waaraan een weefvaktype nog kan voldoen. Men dient de geschiktheid van een weefvak altijd te controleren door het raadplegen van de capaciteitsdiagrammen die bij het betreffende weefvaktype horen.

## 5.5 Vergelijking van gemeten en gesimuleerde capaciteitswaarden

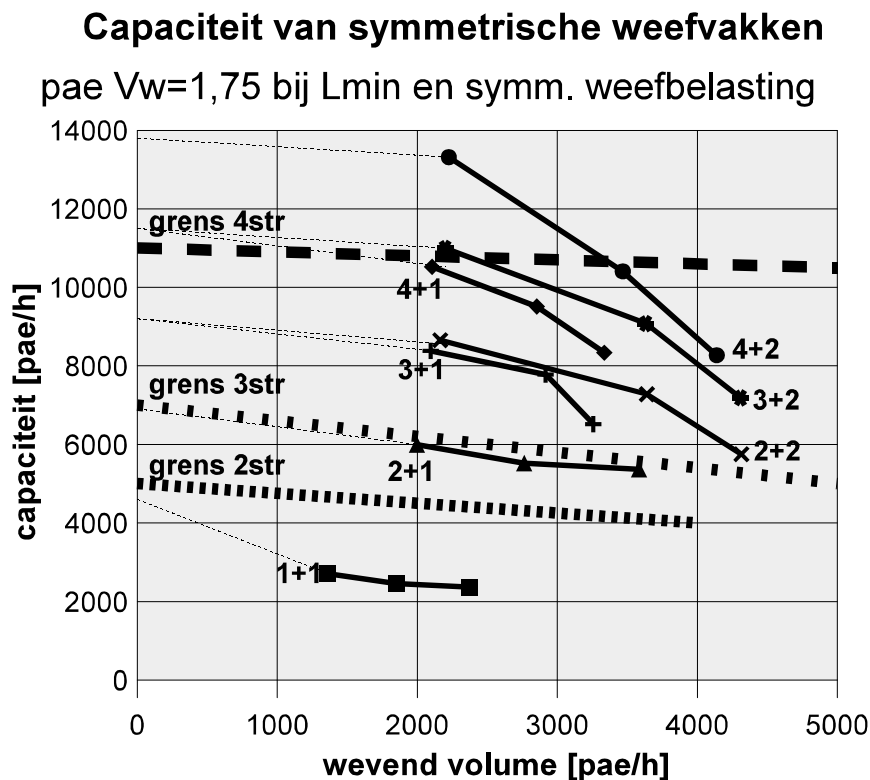
In hoofdstuk 3 is een overzicht gemaakt van capaciteitswaarden die binnen en buiten Nederland zijn gemeten. Het is interessant om te zien in hoeverre de gesimuleerde waarden overeen komen met waarden uit dit overzicht. Men kan op twee niveaus een vergelijking maken: globaal, d.w.z. op basis van het aantal stroken op het weefvak, of per individueel geval.

Voor een globale vergelijking van gemeten en gesimuleerde waarden is een vergelijking op basis van (ROA) pae-waarden voor de hand liggend, ondanks het feit dat het gebruik van pae-waarden niet zonder problemen is. Als we uitgaan van capaciteitswaarden uitgedrukt in pae/h, volstaat in het ideale geval één capaciteitsdiagram per weefvakconfiguratie. Aangezien de diagrammen voor verschillende percentages wevend verkeer niet allemaal samenvallen nemen we het geval van 10% vrachtverkeer als representant. Voorlopig gaan we uit van de in de ROA genoemde pae-waarden van 1,5 voor licht vrachtverkeer en 2,0 voor zwaar vrachtverkeer. Figuur 5.5.1 toont het verzameldiagram voor weefvakcapaciteiten in pae's. In deze figuur zijn tevens een aantal essentiële zaken overgenomen van figuur 3.5.1: verzameldiagram gemeten capaciteitswaarden.

De grenzen voor gemeten capaciteitswaarden van 2- en 3-strooksweefvakken passen precies tussen de gesimuleerde capaciteitsverbanden. De grens voor 4-strooks weefvakken ligt ca 1000 pae/h hoger dan de gesimuleerde waarden voor 2+2 en 3+1 weefvakken.

Kijkend naar individuele capaciteitswaarden die zijn gemeten dan zijn grote afwijkingen tussen gemeten en gesimuleerde waarden vooral te vinden bij weefvakken met 4 of meer rijstroken. De waarden van Transpute (2+2 weefvak) en Grontmij (2+2->2+3 weefvak) liggen beduidend boven de lijnen met

gesimuleerde capaciteitswaarden. De andere meetwaarden passen goed bij de simulatieresultaten.



**Figuur 5.5.1** Verzameldiagram voor weefvakcapaciteiten in pae/h

## 5.6 Aanbeveling voor het gebruik van capaciteitsdiagrammen in het handboek CIA-1

### 5.6.1 Het waardenbereik van capaciteitsdiagrammen

De capaciteitsdiagrammen en verzameldiagrammen die in de praktijk te gebruiken zijn, zijn iets beperkter van inhoud dan de diagrammen die in dit rapport staan. In de capaciteitsdiagrammen worden de volgende zaken weggelaten omdat ze in de praktijk (nog) niet voorkomen:

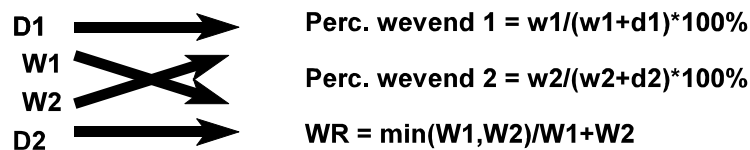
- ' capaciteitswaarden bij een lengte van 100m bij 1+1 weefvakken
- ' capaciteitswaarden bij een lengte t/m 200m bij 2+1, t/m 300m bij 3+1 en t/m 400m bij 4+1 weefvakken

Het geven van een overzicht met alle cumulatieve frequentieverdelingen die ten grondslag liggen aan de capaciteitsdiagrammen en verzameldiagrammen is door de omvang van het gegevensbestand niet praktisch. Wel kan worden verwezen naar onderzoeksrapporten waarin deze gegevens zijn opgenomen (zoals dit rapport). Men kan volstaan met het opgeven van de mediaanwaarde (en eventueel de spreiding) die bij de frequentieverdeling hoort (zie bijlage 6).

### 5.6.2 Het gebruik van capaciteitsdiagrammen

De in dit hoofdstuk gepresenteerde simulatieresultaten hebben betrekking op symmetrisch belaste symmetrische weefvakken. De gepresenteerde capaciteits- en verzameldiagrammen moet men zien als een aanvulling op de rekenmethode uit de ROA. Ze bieden uitkomst voor die weefvakbelastingen waarover de ROA geen uitspraken doet.

Bij een gegeven (uit prognoses bekende) belasting van een weefvak doorloopt men de volgende stappen om te controleren of een gekozen symmetrisch weefvak voldoende capaciteit heeft:



- ' Bepaal het percentage wevend verkeer per ingaande stroom en de weefratio WR. Neem het hoogste van beide percentages wevend verkeer.
- ' Kijk of WR niet te veel van 0,5 verschilt (0,4-0,5) Bij lage waarden van WR geven capaciteitsdiagrammen slechts een indicatie van de capaciteit. De werkelijke capaciteit ligt dan wat lager.
- ' Zoek in het verzameldiagram met het juiste percentage vrachtverkeer een weefvaktype op met een hogere capaciteit dan de opgegeven belasting van het weefvak (doorgaande en wevende stromen). Hierbij geldt dat men bij voorbeeld het diagram van 5% vrachtverkeer neemt bij percentages kleiner dan, of gelijk aan 5. Deze stap geeft een eerste indicatie of een weefvak voldoende capaciteit heeft.
- ' Neem het capaciteitsdiagram van het betreffende weefvaktype en controleer of de capaciteit van het weefvak bij de gewenste lengte voldoende is, of kijk welke lengte minimaal nodig is. Het percentage wevend verkeer is hierboven in de eerste stap bepaald. De capaciteitsdiagrammen onderscheiden drie percentages wevend verkeer. Tussenvallende waarden verkrijgt men door lineaire interpolatie.

Indien capaciteitsdiagrammen niet gebruikt kunnen worden vanwege een a-symmetrische weefvakconfiguratie en/of een a-symmetrische belasting blijven twee mogelijkheden open voor de bepaling van de capaciteit:

- ' gebruik van de ROA
- ' gebruik van het microsimulatiemodel FOSIM

## 6 Conclusies

### 6.1 Algemeen

De verkeersafwikkeling op weefvakken is een complex proces. De capaciteit van een weefvak is naast de plattegrond afhankelijk van een flink aantal belangrijke en minder belangrijke invloedfactoren. Om de capaciteit van alle in de praktijk voorkomende weefvakconfiguraties en belastinggevallen in kaart te brengen is zeer veel simulatiewerk nodig. Het resultaat van deze studie vult een deel op van de leemte die de bestaande richtlijnen in het geval van weefvakken laten. Het onderzoek is tevens leerzaam geweest voor de techniek van het simuleren en geeft een beeld van de zaken die in de toekomst moeten worden onderzocht.

### 6.2 Praktijkwaarden voor de capaciteit van weefvakken

De omvang van het uit de literatuur verkregen bestand capaciteitswaarden is gering. Een internationale vergelijking van de capaciteit van weefvakken wordt bemoeilijkt door:

- ' verschil in vormgeving van weefvakken
- ' verschil in verzamelde data van weefvakken
- ' verschillend gebruik van pae-waarden

Er is slechts globale indicatie van capaciteitswaarden in en buiten Nederland verkregen. De praktijkwaarden wijken echter niet al te zeer af van de waarden die m.b.v. de richtlijnen (HCM,ROA) kunnen worden bepaald. De in Nederland optredende capaciteiten voor symmetrische weefvakken zijn wel hoger dan de grenswaarden tot waar de richtlijnen geldig zijn.

### 6.3 Gesimuleerde waarden voor de capaciteit van weefvakken

#### De gesimuleerde weefvakken

De simulatieresultaten hebben uitsluitend betrekking op symmetrische weefvakken met 1+1, 2+1, 3+1, 4+1, 2+2, 3+2 en 4+2 rijstroken. Per type weefvak zijn 5 lengten onderscheiden, afhankelijk van het type variërend tussen 100 en 500m tot 400 en 1000m.

#### De gesimuleerde weefvakbelastingen

De verkeersstromen waarmee de weefvakken tijdens een simulatie zijn belast voldoen aan de volgende regels:

- ' De gemiddelde verkeersbelasting per strook op elk van de toeleidende rijbanen is gelijk.
- ' De wevende stroom naar links is steeds even groot als de wevende stroom naar rechts.

Het weefvak is daarmee symmetrisch belast.

- ' Per type weefvak zijn simulaties verricht met 5, 10 en 15% vrachtverkeer.

- ' Afhankelijk van het type weefvak is gesimuleerd met 50, 75 en 100 of 25, 50 en 75 % wevend verkeer.
- ' Gedurende een simulatie zijn de percentages vracht- en wevend verkeer constant.
- ' Het verkeer is bij elke simulatie samengesteld uit vijf voertuig-bestuurder-combinaties: drie typen personenauto's en twee typen vrachtwagens. Eigenschappen per voertuig-bestuurder-combinatie zijn gebaseerd op ervaringen uit eerdere simulatiestudies.
- ' De wensnelheden van bestuurders op toe- en afritten zijn 80% van de wensnelheden op een hoofdrijbaan van een autosnelweg. Op een weefvak van het type 1+1 zijn de wensnelheden overal 60% van die op een hoofdrijbaan van een autosnelweg.

De simulaties zijn verricht met het microsimulatiemodel FOSIM versie 3.0, waarvan wordt verondersteld dat het valide is voor de bepaling van weefvakcapaciteiten. Elk individueel geval is 100 maal gesimuleerd, met verschillende startwaarden voor de randomgenerator.

### **Simulatieresultaten**

De belangrijkste resultaten zijn:

- ' De door simulatie verkregen capaciteitswaarden zijn normaal verdeeld.
- ' De capaciteit van een weefvak neemt af met het toenemen van het percentage vrachtverkeer.
- ' De capaciteit van een weefvak neemt af met het toenemen van de grootte van de wevende stroom.
- ' Bij een grote weefvaklengte heeft een wijziging van deze lengte een geringe invloed op de hoogte van de capaciteit. Bij de grotere weefvaktypen (> 3 stroken) is deze invloed boven de minimum lengte i.v.m. bebording reeds zeer beperkt.
- ' Simulatieresultaten zijn op drie nivo's grafisch weergegeven:
  - frequentieverdeling per weefvaktype, lengte, percentage wevend en percentage vracht verkeer
  - capaciteitsdiagrammen per type weefvak, percentage wevend en vrachtverkeer voor verschillende lengten.
  - Verzameldiagram per percentage vrachtverkeer met capaciteitswaarden voor alle gesimuleerde weefvaktypen voor verschillende volumes wevend verkeer bij de minimaal toegestane weefvaklengte i.v.m. bebording.
- ' De gevonden pae-waarden variëren van 2,5 tot 3,6 en zijn daarmee hoger dan de waarden die de ROA hanteert (1,5 voor licht- en 2,0 voor zwaar vrachtverkeer).
- ' Een vaste pae-waarde voor vrachtverkeer blijkt niet te gebruiken doordat de pae-waarde niet constant is voor verschillende typen weefvakken.
- ' Resultaten van de simulaties komen in het algemeen goed overeen met de gevonden praktijkwaarden.

Voor andere typen weefvakken en/of weefvakbelastingen dan hiervoor genoemd geven de simulatieresultaten een indicatie van de capaciteit.

## 7 Aanbevelingen

Aangezien niet alle weefvakconfiguraties en belastinggevallen zijn doorgerekend moet nog een aanvullend stuk simulatiewerk worden verricht. Bij deze simulaties kan men rekenig houden met de volgende punten:

- ' voor weefvakken met een hoog aandeel wevend verkeer is een minder snelle toename van de intensiteit in het opgegeven belastingprofiel gewenst dan in deze studie gebruikt.
- ' Er zijn minder simulaties per configuratie en belastinggeval nodig dan het in deze studie gehanteerde aantal van 100 stuks. Er is nu voldoende duidelijkheid omtrend het gemiddelde en de spreiding van de door simulatie verkregen capaciteitswaarden om een geringer aantal mogelijk te maken. Een aantal van 25 stuks (controle d.m.v. statistische toets op normaliteit capaciteitsverdeling!) lijkt voldoende, zeker indien men allen is geïnteresseerd in gemiddelde waarden.
- ' De nadruk bij vervolgonderzoek moet liggen op het schatten van functies van het verloop van de verschillende capaciteitsverbanden. Hiervoor zijn een groter aantal tussenliggende capaciteitswaarden per weefvaktype nodig. De gevonden functies maken een analytische bepaling van de capaciteit mogelijk naast de in dit rapport beschreven grafische methode.

Verder aanvullend onderzoek is gewenst naar capaciteitswaarden van:

- ' a-symmetrische weefvakken
- ' effect a-symmetrische wegvakbelasting
- ' effect a-symmetrische weefbelasting
- ' 1+1 weefvakken met minder snelheidsonderdrukking dan hier toegepast

Voor wat betreft de volgende zaken is er onduidelijkheid m.b.t. de juistheid van de simulatieresultaten. Aanvullend onderzoek is ook hier op zijn plaats:

- ' het marginaal effect percentage wevend verkeer bij 1+1 weefvakken.
- ' capaciteit van 3+1 weefvakken voor 5 en 10% vrachtverkeer.

Nader onderzoek naar pae-waarden bij weefvakken is gewenst, aangezien in de praktijk veelvuldig met pae-waarden wordt gewerkt.

## Literatuur

**Alexiadis V., P.D. Muzzey, O.J. Macdonald.** *Weaving operations in Boston*. ITE Journal p23-28, may 1993.

**Boekholt B.J., H. Botma, M.M. Minderhoud.** *Capaciteitswaarden infrastructuur Autosnelwegen; Fase 2: Capaciteitsbegrippen*. Sectie Verkeerskunde Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, december 1996.

**Brilon W., M. Großmann, H. Blanke.** *Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Straßen*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 669, 1994.

**Bullen A.G.R.** *Development of compact microsimulation for analyzing freeway operations and design*. Transportation Research Record 841, Transportation Research Board, Washington D.C., 1982.

**Cassidy M.J., A. Skabardonis, A.D. May.** *Operation of major freeway weaving sections: recent empirical evidence*. Transportation Research Board 68 Annual Meeting, Washington D.C., january 22-26, 1989.

**Cassidy M.J., P. Chan, B. Robinson, A.D. May.** *A proposed analytical technique for the design and analysis of major freeway weaving sections*. Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley, July 1990.

**Cassidy M.J., A.D. May.** *Proposed analytical technique for estimating capacity and level of service of major freeway weaving sections*. Transportation Research Record No 1320, pp 99-109, Transportation Research Board, Washington D.C., 1991.

**Dijker. T, P.H.L. Bovy, R.G.M.M. Vermijs.** *Car-following under non-congested and congested conditions*. Sectie Verkeerskunde Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, oktober 1997.

**Grontmij.** *Calibratie en validatie FOSIM; fase 4: validatie*. De Bilt, 14oktober 1996.

**Transportation Research Board.** *Highway Capacity Manual*. Washington D.C. 1985, 1994

**Klein P.J.** *De afwikkeling van voertuigstromen op weefvakken*. Vakgroep Verkeerskunde, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, maart 1988.

**Kuwahara M., M. Koshi, T. Suzuki.** *Capacity and speed of weaving sections of the Tokyo metropolitan expressway*. ITE Journal p 27-32, maart 1991.

**Minderhoud M.M., H.J. Papendrecht.** *Capaciteitswaarden Infrastructuur*



**Autosnelwegen; Fase 1: Literatuurstudie.** Sectie Verkeerskunde Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, december 1996.

**Nakamura H., M. Kuwahara, M. Koshi. A simulation model for the evaluation of weaving capacity.** Highway capacity and level of service, proceedings of the First International Symposium on Highway Capacity, Karlsruhe, pp 259-270, Balkema, Rotterdam, 1991.

**Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Richtlijnen voor Ontwerp van Autosnelwegen.** 's-Gravenhage 1992.

**Schuurman H., R.G.M.M. Vermijs. Verkeersafwikkeling bij discontinuïteiten.** Sectie Verkeerskunde, Vakgroep Infrastructuur, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, juni 1993.

**Schuurman H., R.G.M.M. Vermijs. Ontwikkeling van het microsimulatiemodel FOSIM voor weefvakken en invoegingen.** Sectie Verkeerskunde, Vakgroep Infrastructuur, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, oktober 1993.

**Schuurman H., R.G.M.M. Vermijs. Simulatie verkeersbeheersingsmaatregelen Kethelplein.** Sectie Verkeerskunde, Vakgroep Infrastructuur, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, december 1994.

**Skabardonis A., M. Cassidy, A.D. May, S. Cohen. Application of simulation to evaluate the operation of major freeway weaving sections.** Transportation Research Record No. 1225 pp 91-98, Transportation Research Board, Washington D.C., 1989.

**Transpute. Veldinformatie over capaciteit en verkeersafwikkeling op discontinuïteiten bij zware verkeersbelasting.** Gouda, september 1993.

**Vermijs R.G.M.M. Calibratie en validatie van het microsimulatiemodel FOSIM voor symmetrische weefvakken.** Sectie Verkeerskunde, Vakgroep Infrastructuur, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, december 1991.

**Vermijs R.G.M.M. Het microsimulatiemodel FOSIM; beschrijving van het computer-programma.** Sectie Verkeerskunde, Vakgroep Infrastructuur, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, juli 1992.

**Vermijs R.G.M.M. en F. Middelham. Het microsimulatiemodel FOSIM; gebruikershandleiding bij versie 3.** Sectie Verkeerskunde, Vakgroep Infrastructuur, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, juli 1997.

**Wang M., M.J. Cassidy, P. Chan, A.D. May. Evaluating capacity of freeway weaving sections.** Journal of Transportation Engineering No 119, pp 360-384, 1993.

**Wilmink B.A. Optimale benutting beschikbare manoeuvreerruimte; een**

***onderzoek naar capaciteitsverhoging van weefvakken. Afsudeerverslag.*** Sectie Verkeerskunde, Vakgroep Infrastructuur, Faculteit der Civiele Techniek, Technische Universiteit Delft, oktober 1997.

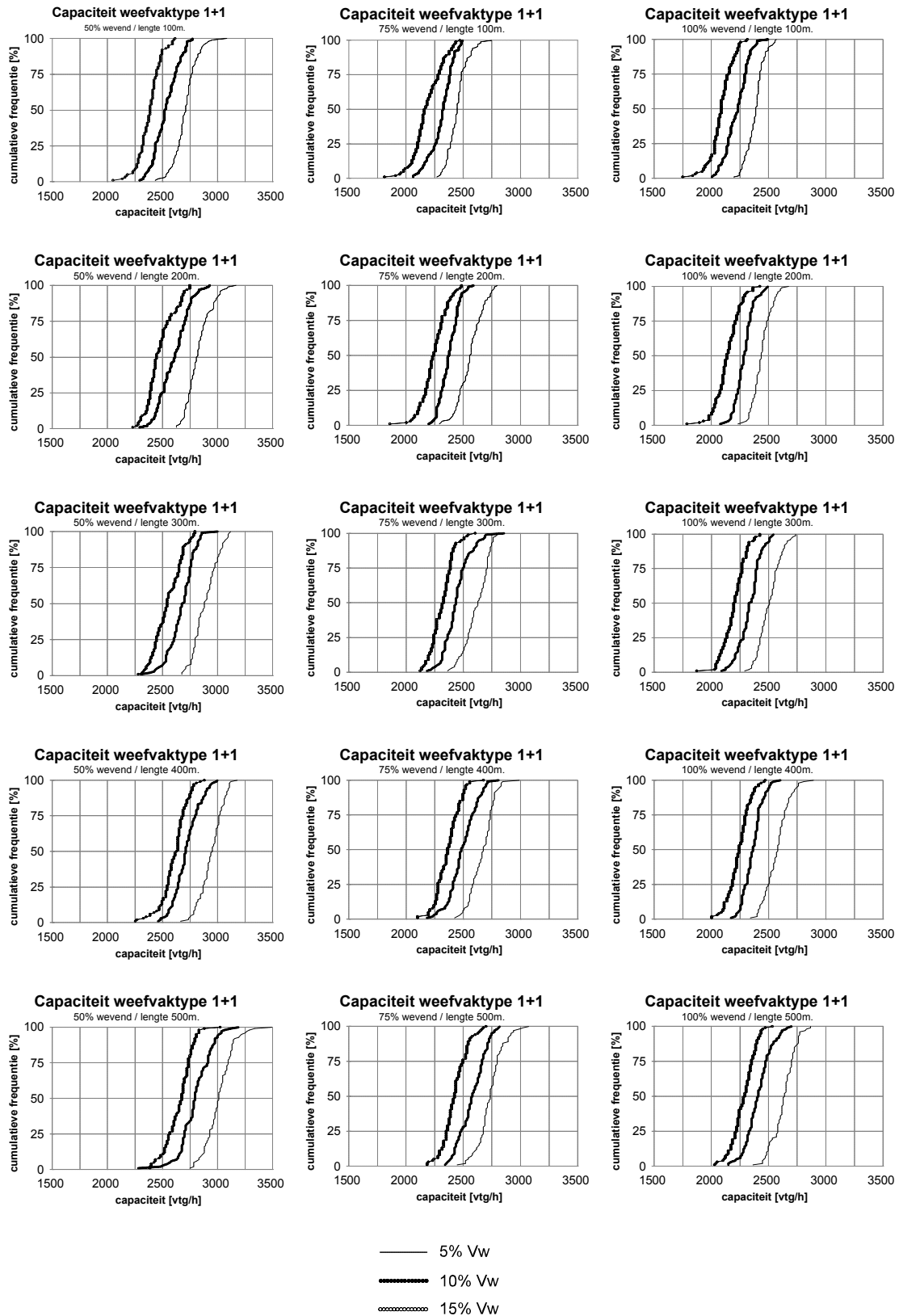


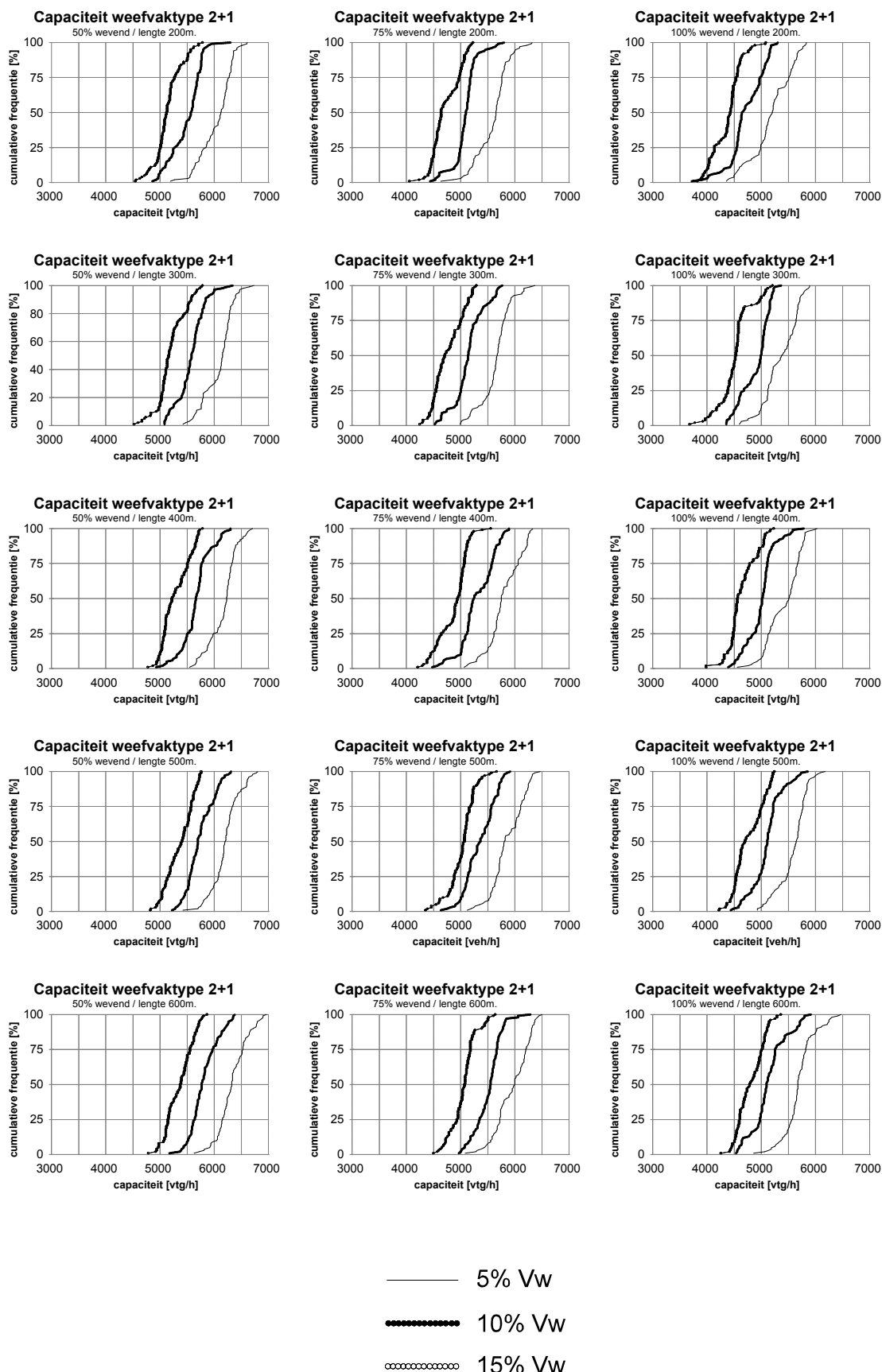
## Bijlagen

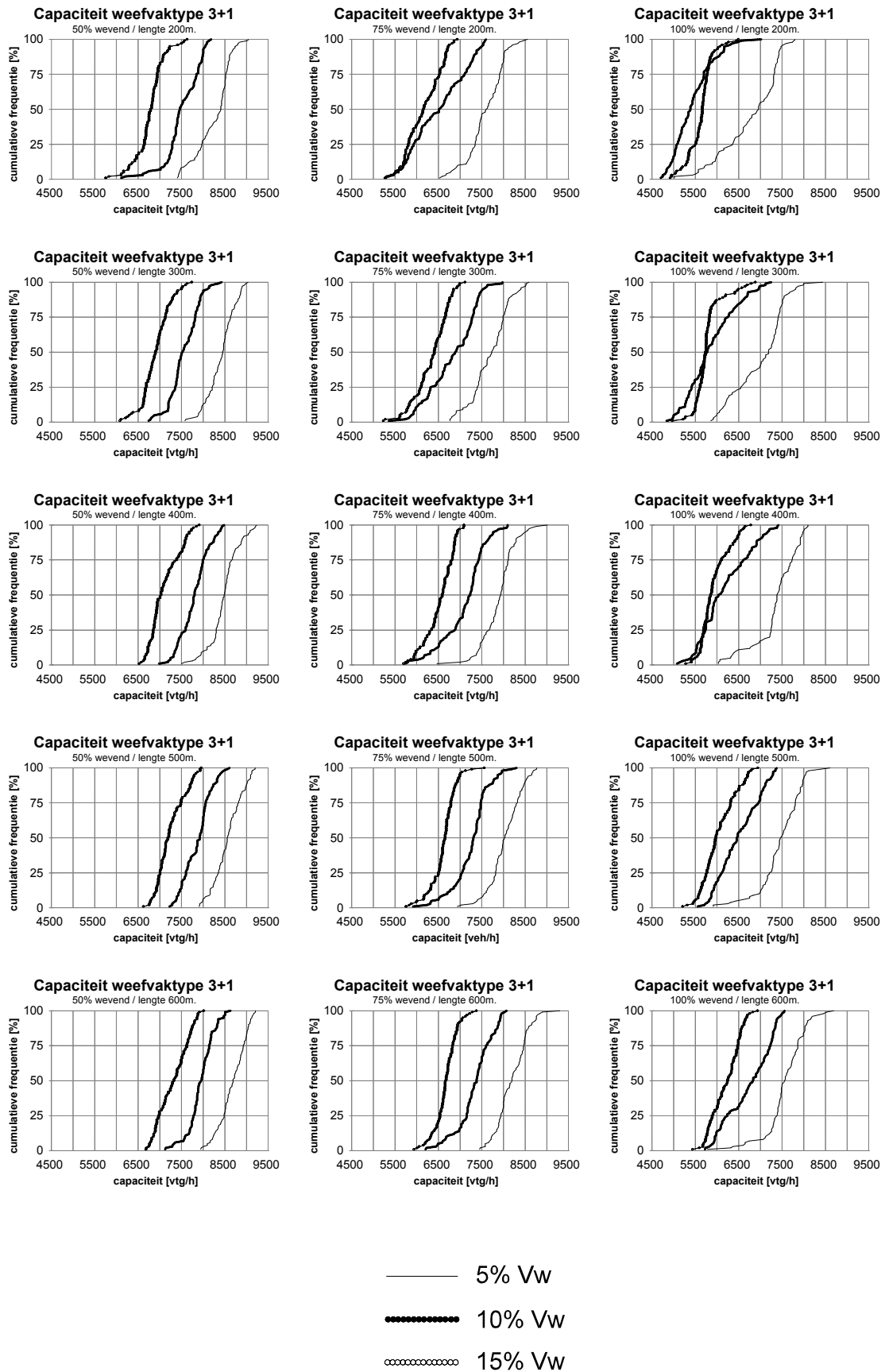
<b>Bijlage 1</b>	<b>Cumulatieve frequentieverdelingen van de capaciteit . . . .</b>	<b>55</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Capaciteitsdiagrammen . . . . .</b>	<b>63</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Verzameldiagrammen . . . . .</b>	<b>71</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Capaciteitsdiagrammen in pae's, beste fit en volgens ROA</b>	<b>73</b>
<b>Bijlage 5</b>	<b>Capaciteitsschattingen door middel van extrapolatie van het basisdiagram . . . . .</b>	<b>81</b>
<b>Bijlage 6</b>	<b>Overzichtstabel met mediane capaciteitswaarden voor symmetrisch belaste weefvakken [mvt/h] . . . . .</b>	<b>85</b>



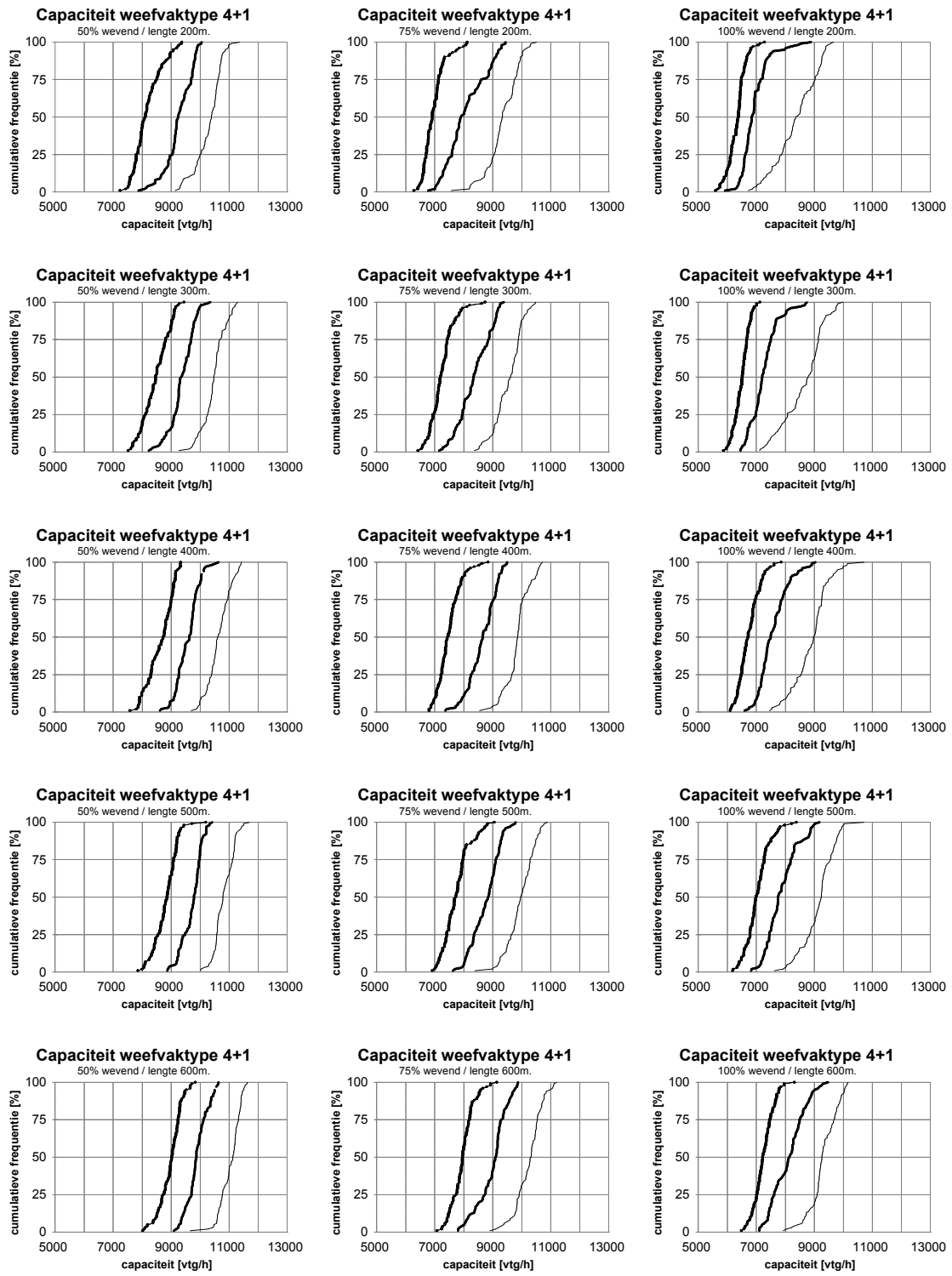
## Bijlage 1 Cumulatieve frequentieverdelingen van de capaciteit



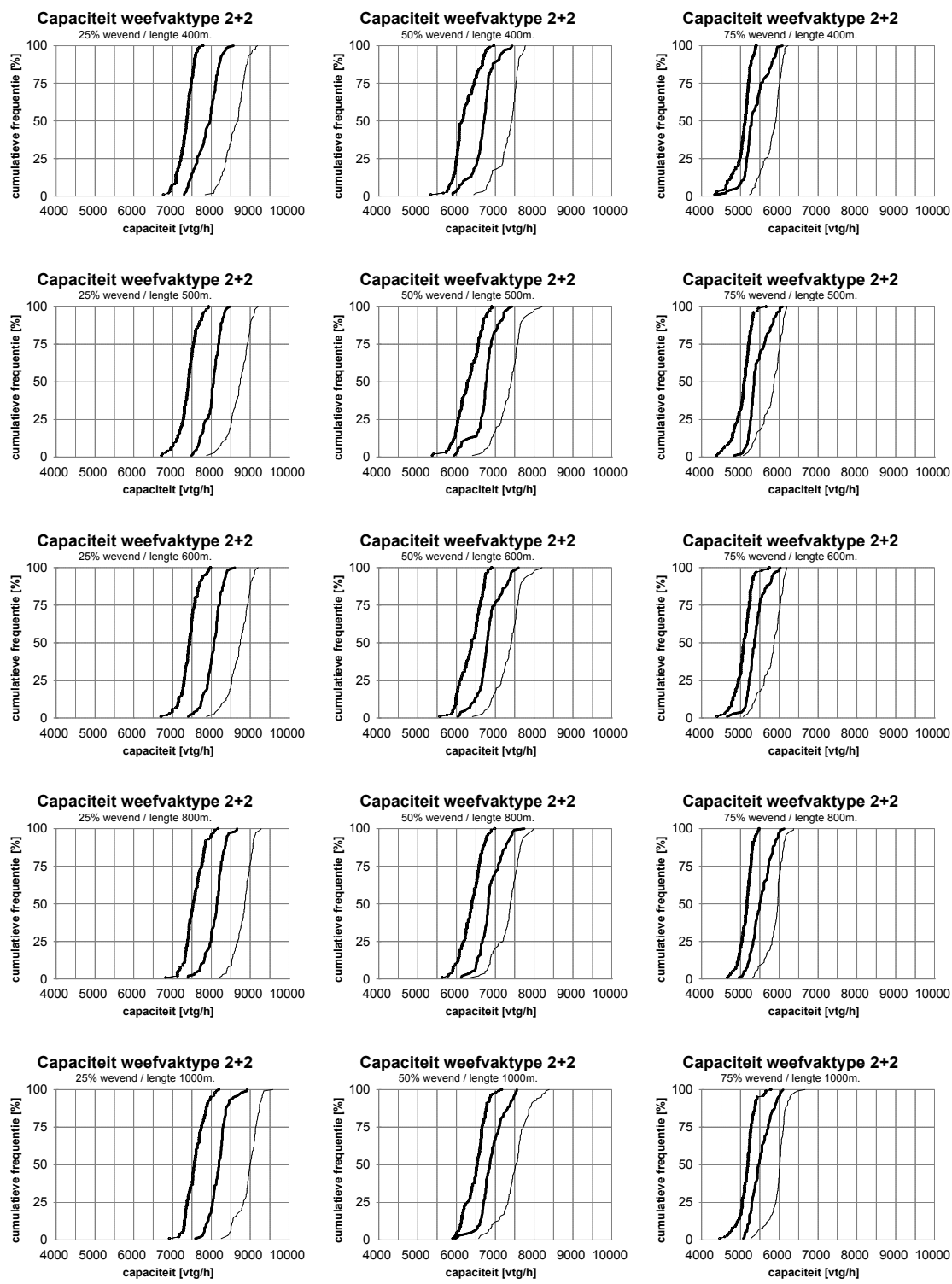




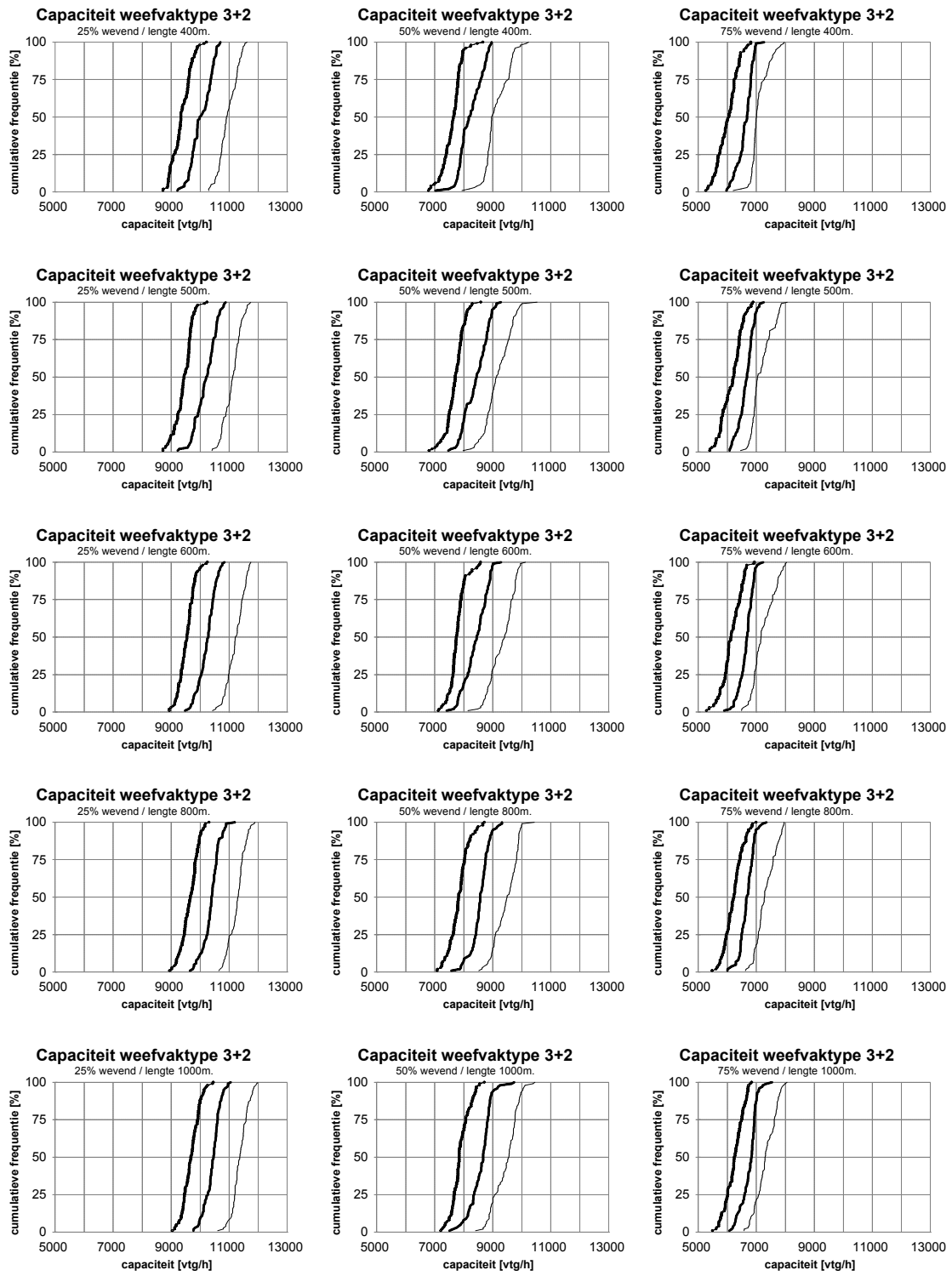




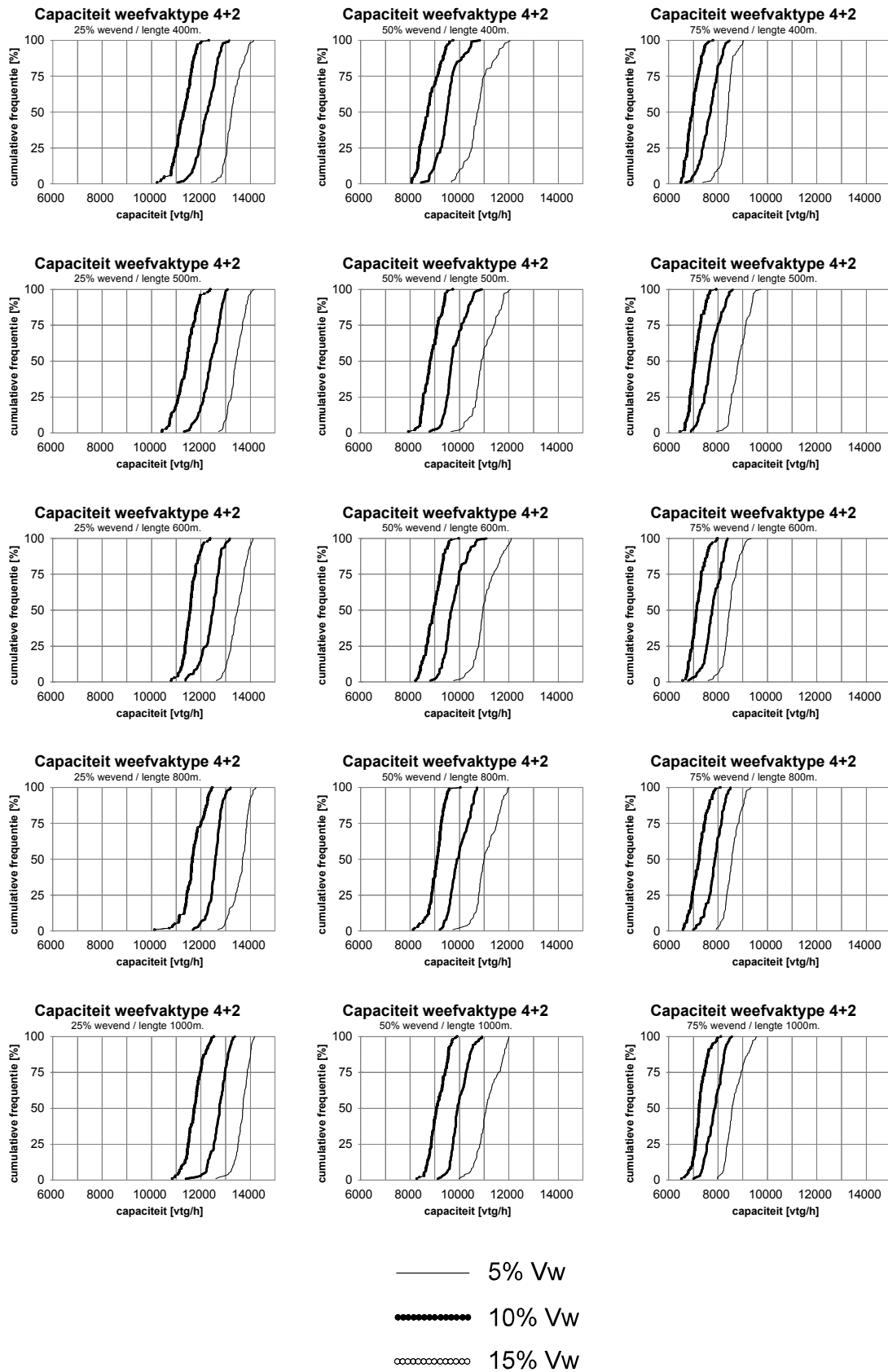
———— 5% Vw  
 ..... 10% Vw  
 - - - - - 15% Vw



———— 5% Vw  
 ..... 10% Vw  
 - - - - - 15% Vw



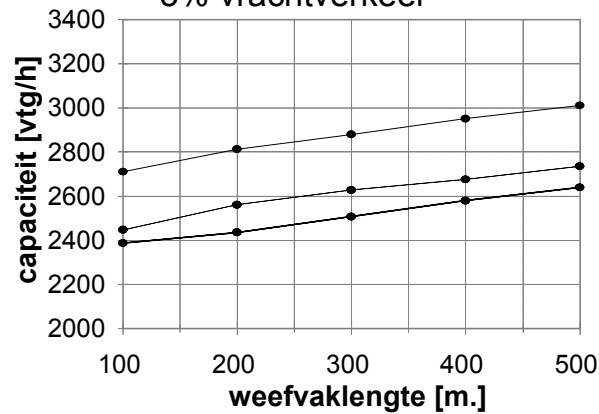
————— 5%  $V_w$   
 ..... 10%  $V_w$   
 - - - - - 15%  $V_w$



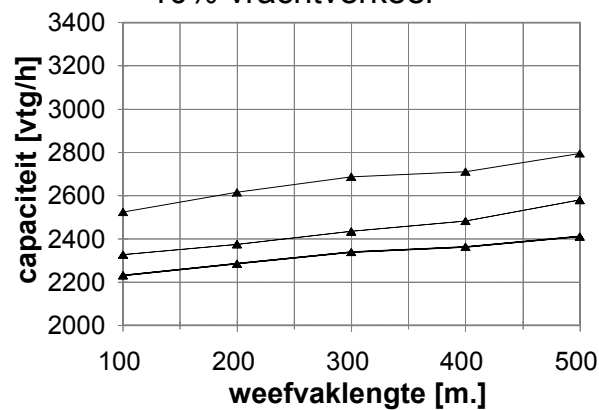


## Bijlage 2 Capaciteitsdiagrammen

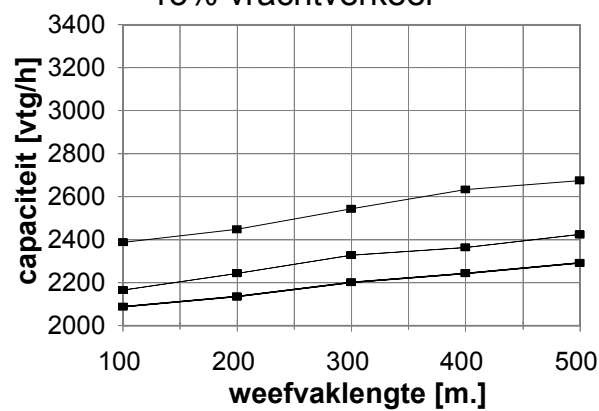
**Capaciteit weefvaktype 1+1**  
5% vrachtverkeer



**Capaciteit weefvaktype 1+1**  
10% vrachtverkeer



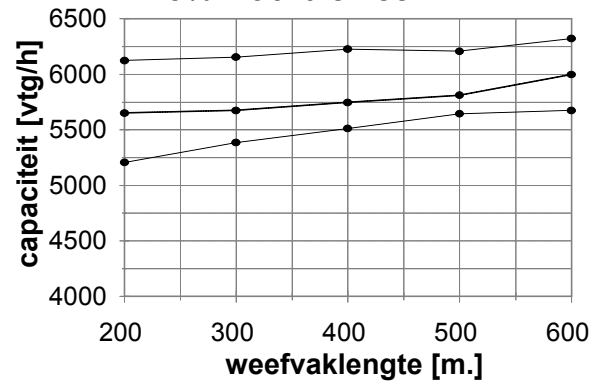
**Capaciteit weefvaktype 1+1**  
15% vrachtverkeer



— — 50% wevend  
 ..... 75% wevend  
 ——— 100% wevend

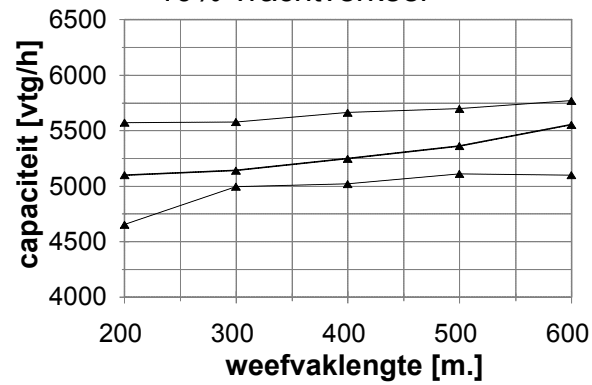
### Capaciteit weefvaktype 2+1

5% vrachtverkeer



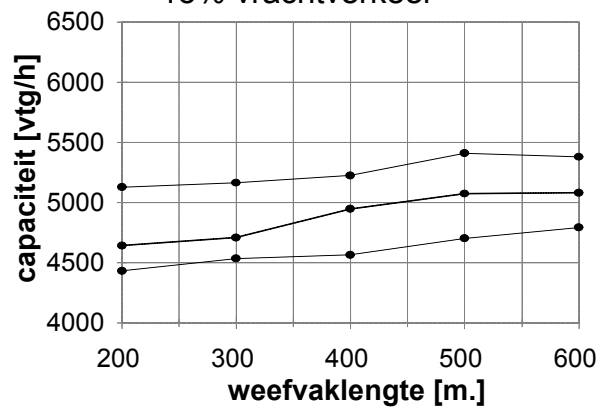
### Capaciteit weefvaktype 2+1

10% vrachtverkeer



### Capaciteit weefvaktype 2+1

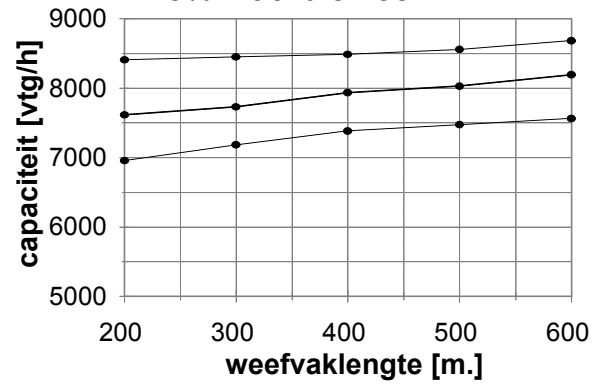
15% vrachtverkeer



- 50% wevend
- ..... 75% wevend
- 100% wevend

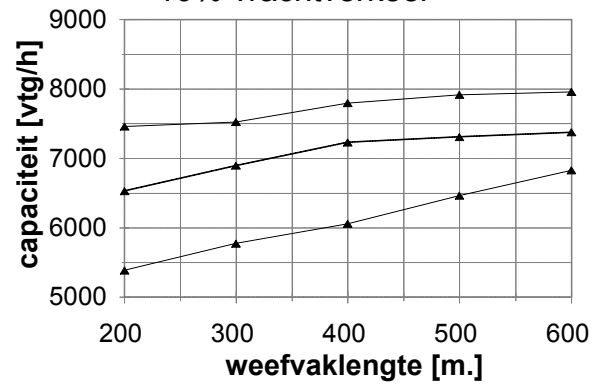
### Capaciteit weefvaktype 3+1

5% vrachtverkeer



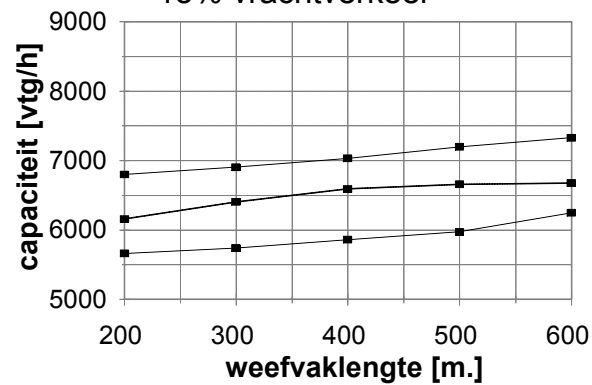
### Capaciteit weefvaktype 3+1

10% vrachtverkeer



### Capaciteit weefvaktype 3+1

15% vrachtverkeer

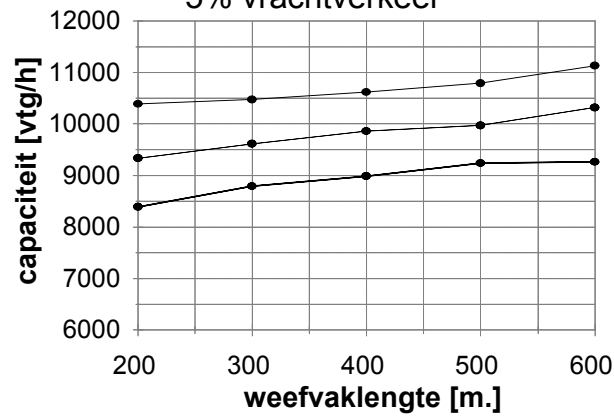


— 50% wevend  
 ..... 75% wevend  
 — 100% wevend



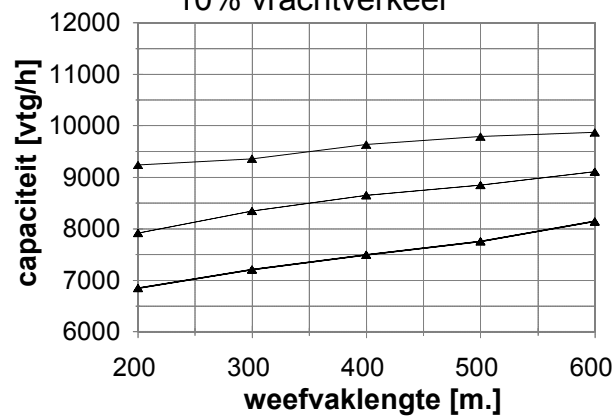
### Capaciteit weefvaktype 4+1

5% vrachtverkeer



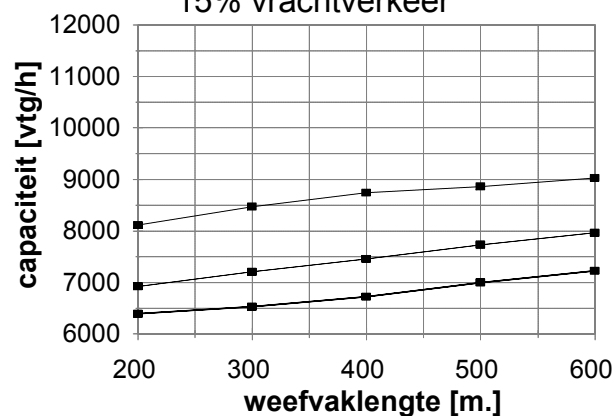
### Capaciteit weefvaktype 4+1

10% vrachtverkeer

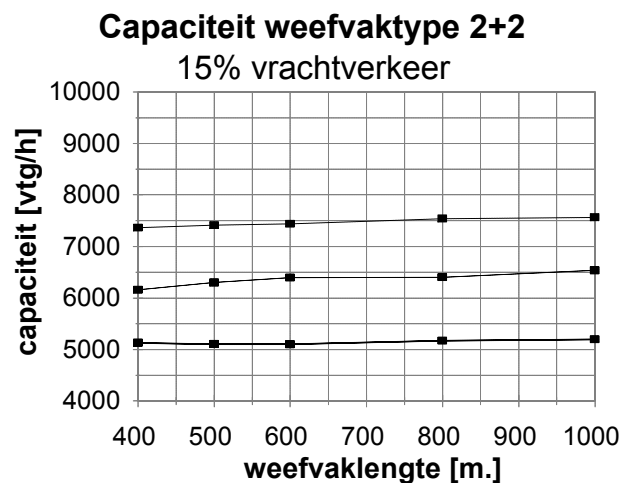
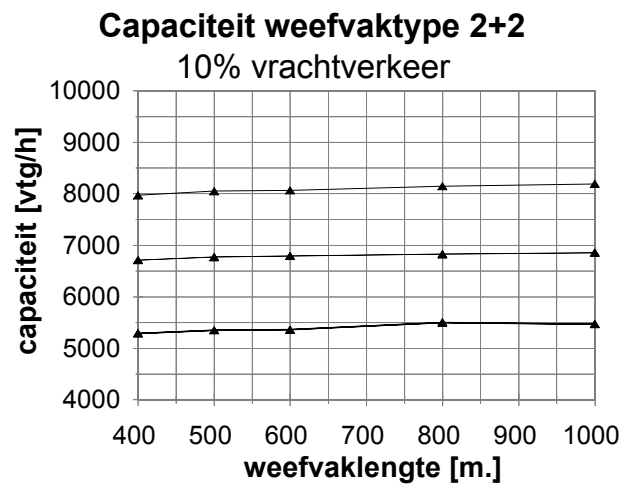
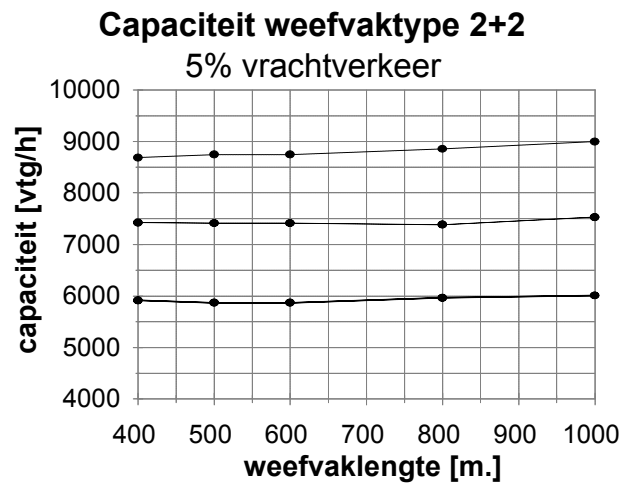


### Capaciteit weefvaktype 4+1

15% vrachtverkeer



— — 50% wevend  
 ..... 75% wevend  
 ——— 100% wevend



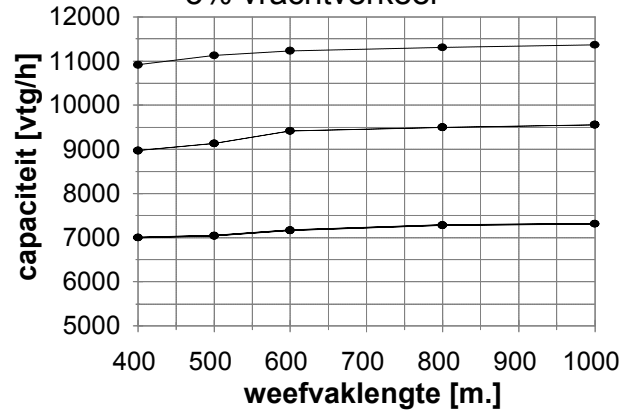
— — 25% wevend

..... 50% wevend

———— 75% wevend

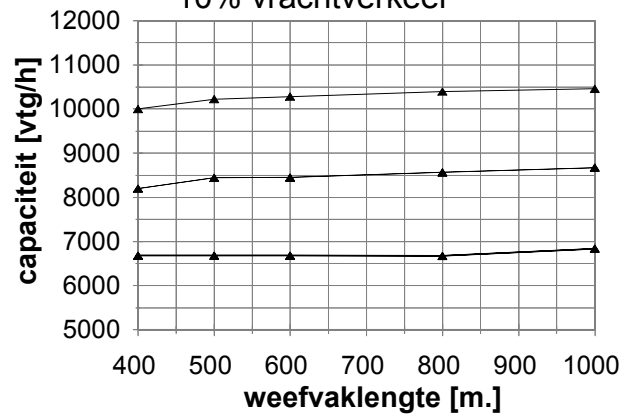
### Capaciteit weefvaktype 3+2

5% vrachtverkeer



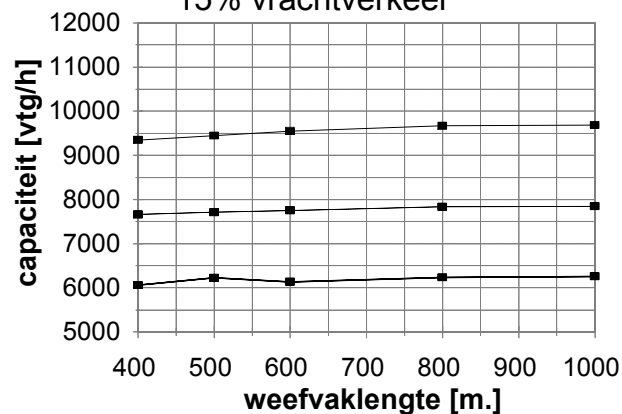
### Capaciteit weefvaktype 3+2

10% vrachtverkeer



### Capaciteit weefvaktype 3+2

15% vrachtverkeer



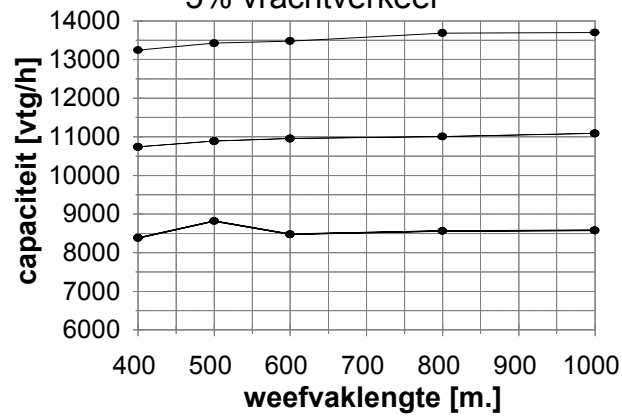
— — 25% wevend

..... 50% wevend

———— 75% wevend

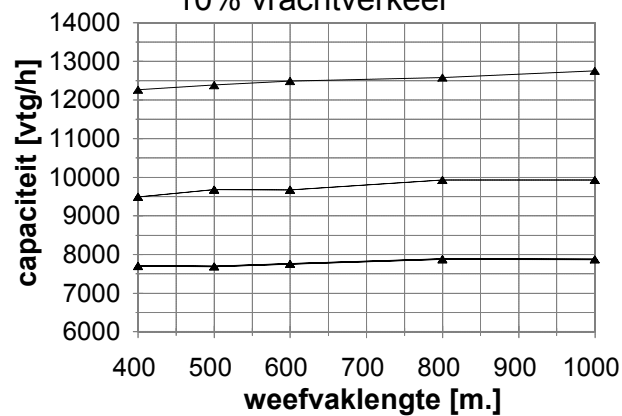
### Capaciteit weefvaktype 4+2

5% vrachtverkeer



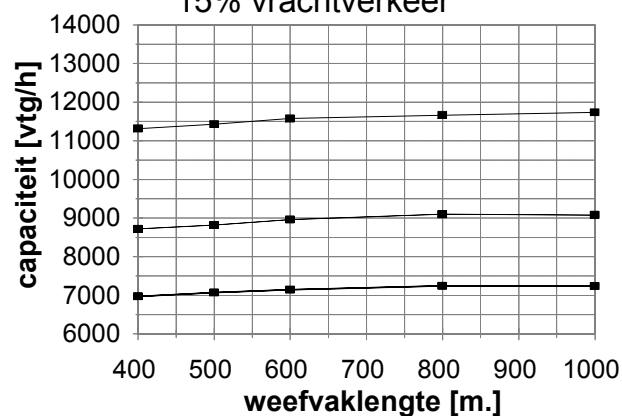
### Capaciteit weefvaktype 4+2

10% vrachtverkeer



### Capaciteit weefvaktype 4+2

15% vrachtverkeer



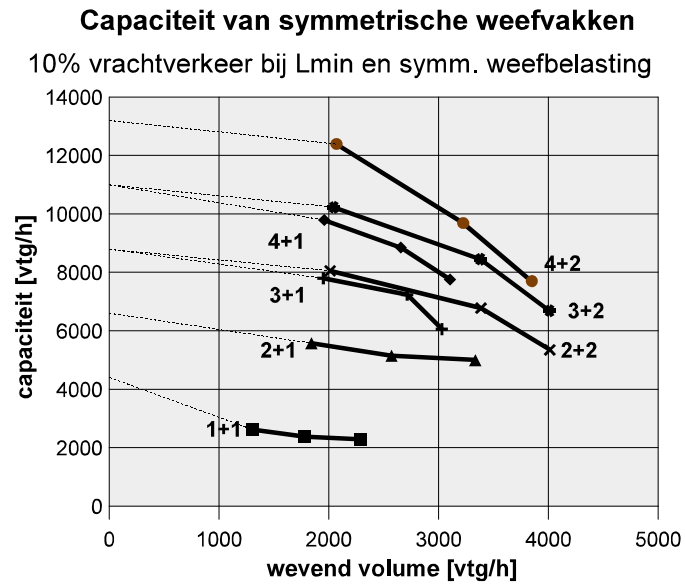
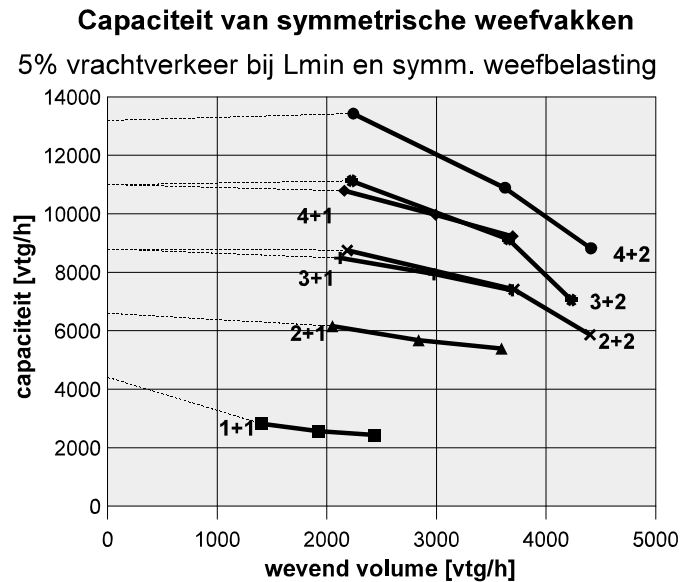
— 25% wevend

..... 50% wevend

— 75% wevend

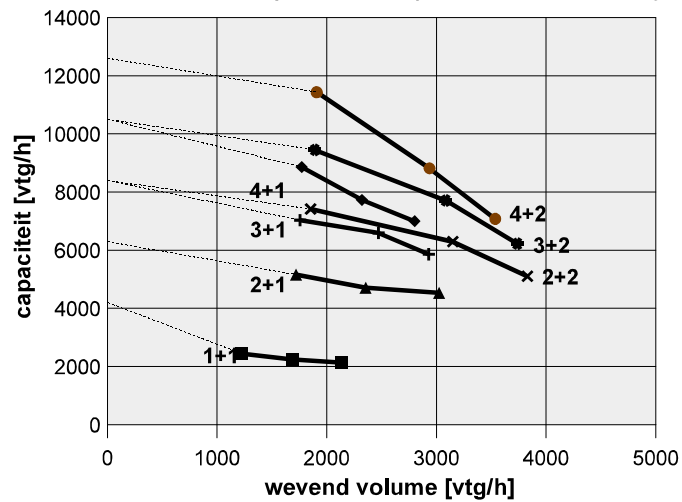


## Bijlage 3 Verzameldiagrammen



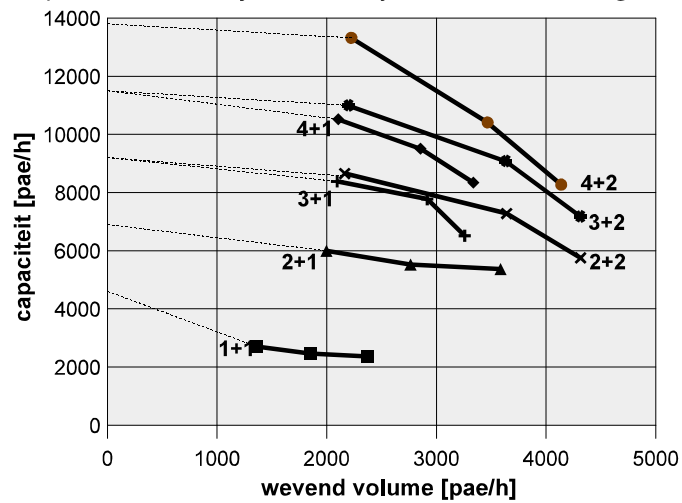
### Capaciteit van symmetrische weefvakken

15% vrachtverkeer bij Lmin en symm. weefbelasting

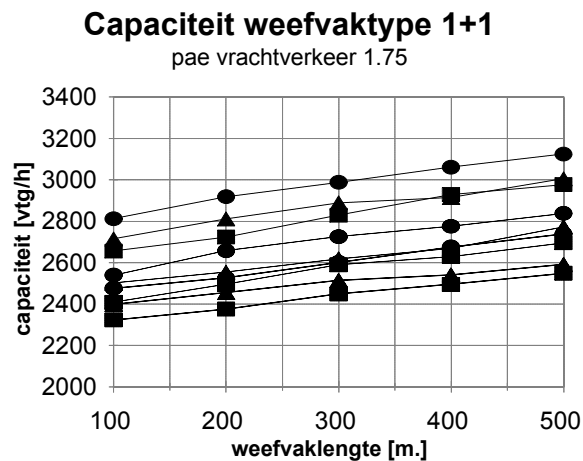
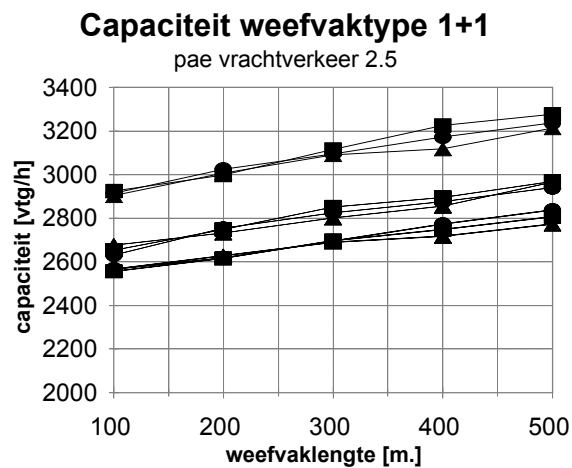


### Capaciteit van symmetrische weefvakken

pae Vw=1,75 bij Lmin en symm. weefbelasting

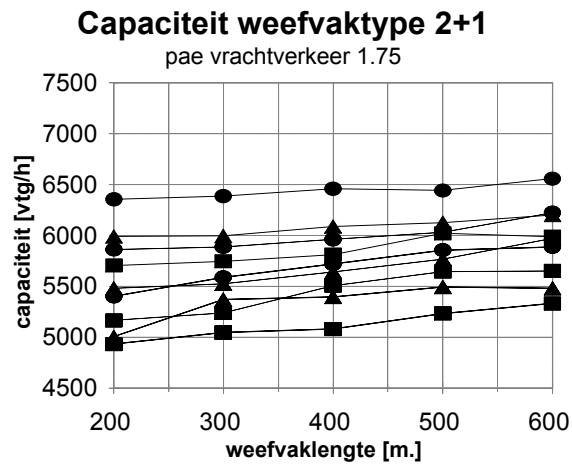
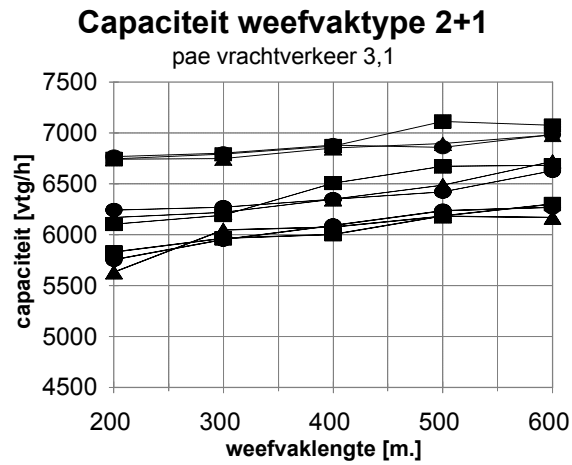


## Bijlage 4 Capaciteitsdiagrammen in pae's, beste fit en volgens ROA

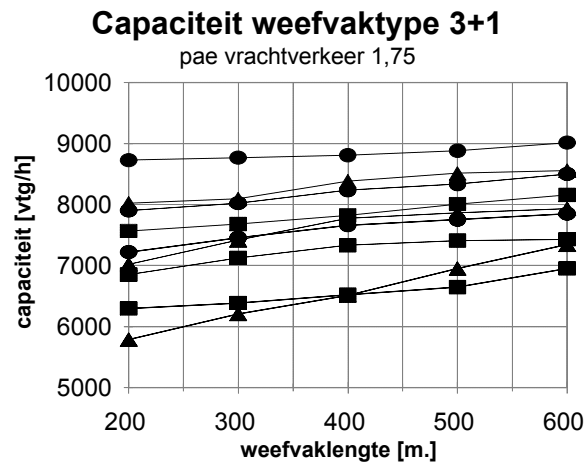
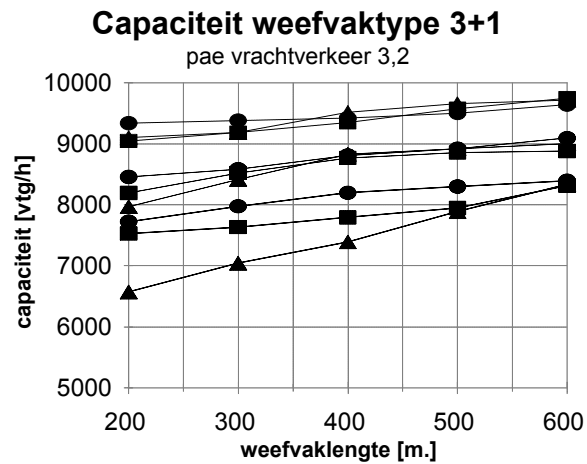


— —	50% wevend	●	5% Vrachtwagens
.....	75% wevend	▲	10% Vrachtwagens
————	100% wevend	■	15% Vrachtwagens

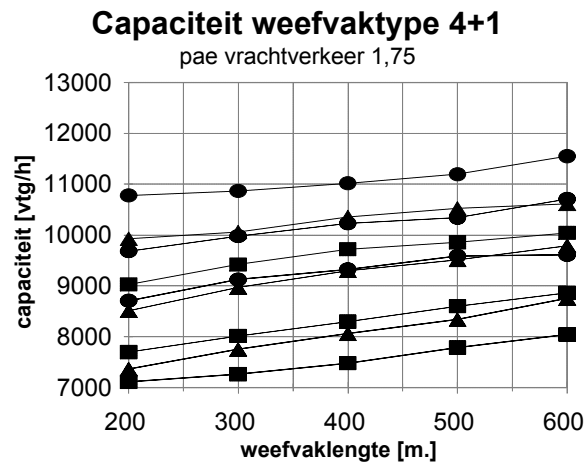
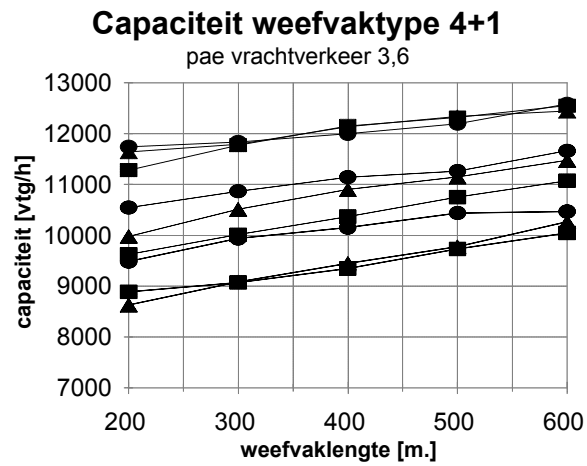




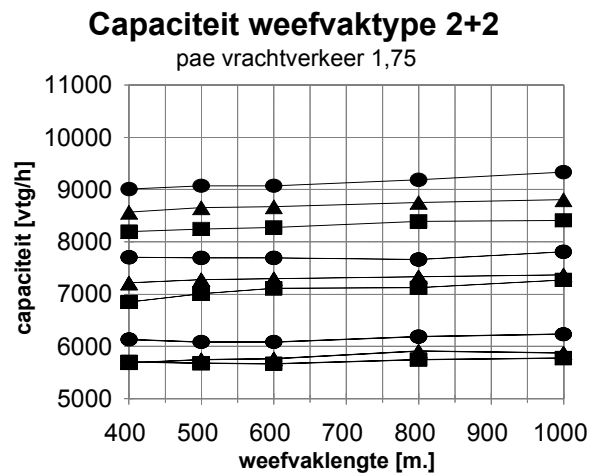
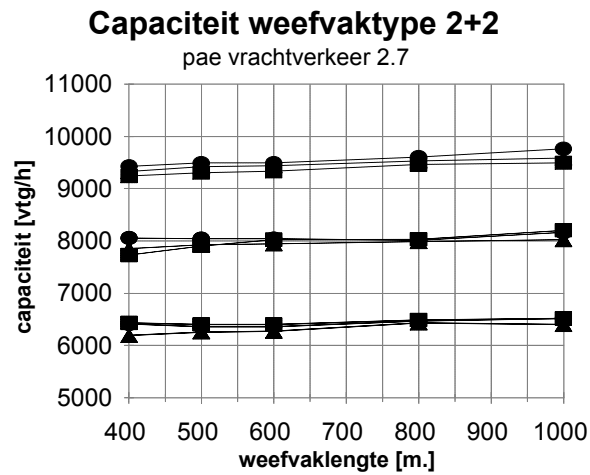
— 50% wevend      ● 5% Vrachtwagens  
 ..... 75% wevend      ▲ 10% Vrachtwagens  
 — 100% wevend      ■ 15% Vrachtwagens



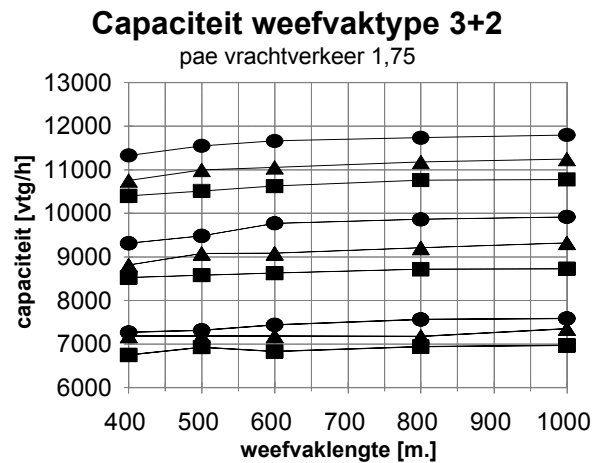
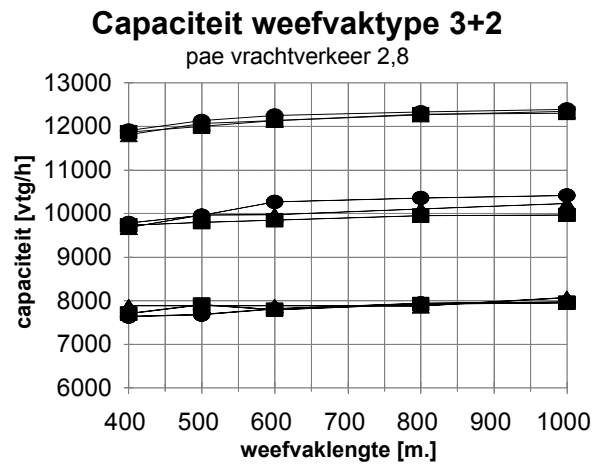
— 50% wevend      ● 5% Vrachtwagens  
 ..... 75% wevend      ▲ 10% Vrachtwagens  
 — 100% wevend      ■ 15% Vrachtwagens



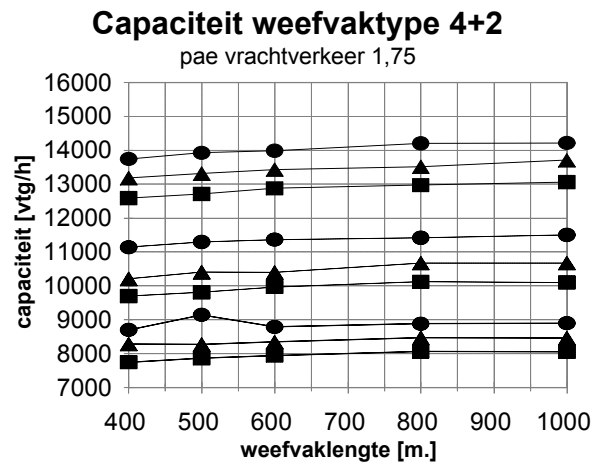
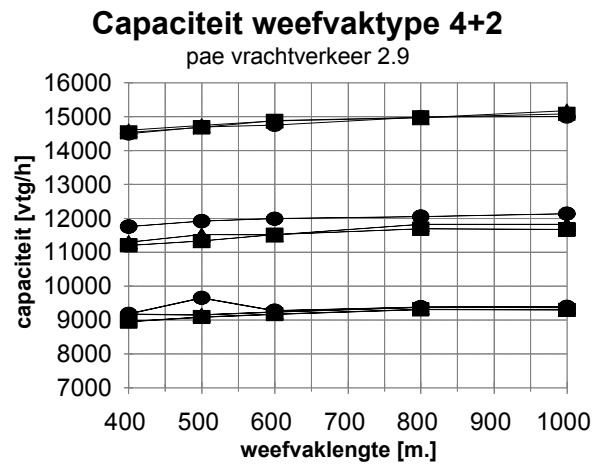
— 50% wevend      ● 5% Vrachtwagens  
 ..... 75% wevend      ▲ 10% Vrachtwagens  
 — 100% wevend      ■ 15% Vrachtwagens



— 25% wevend      ● 5% Vrachtwagens  
 ..... 50% wevend      ▲ 10% Vrachtwagens  
 — 75% wevend      ■ 15% Vrachtwagens



— —	25% wevend	●	5% Vrachtwagens
.....	50% wevend	▲	10% Vrachtwagens
——	75% wevend	■	15% Vrachtwagens



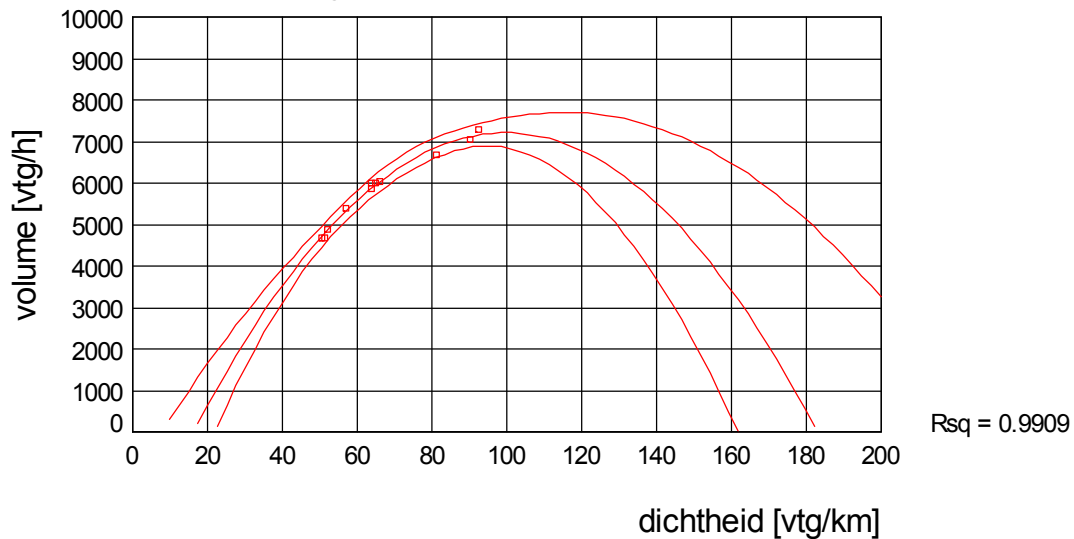
— — 25% wevend      ● 5% Vrachtwagens  
 ..... 50% wevend    ▲ 10% Vrachtwagens  
 ——— 75% wevend      ■ 15% Vrachtwagens



## Bijlage 5 Capaciteitsschattingen door middel van extrapolatie van het basisdiagram

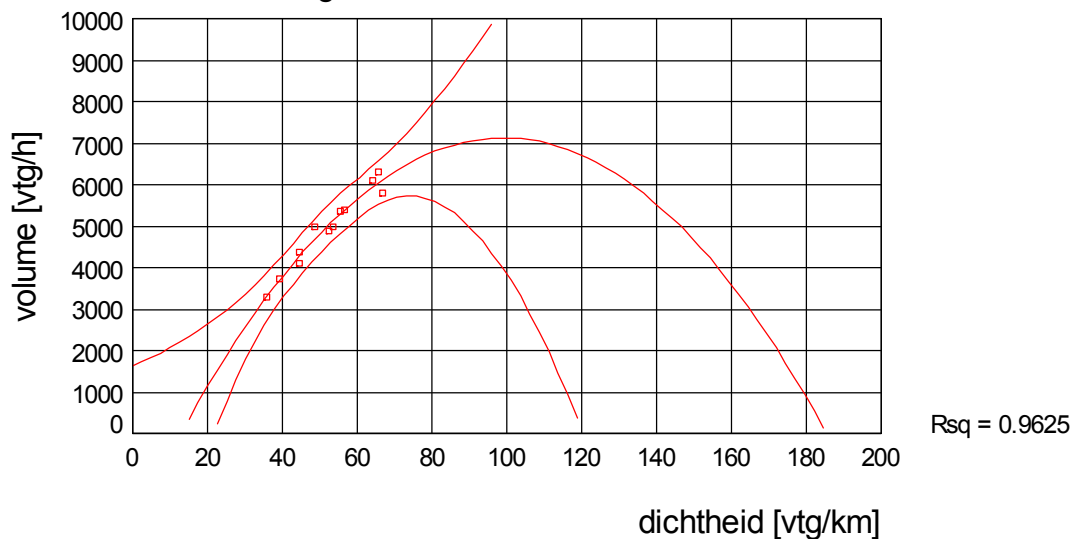
### weefvak type 2+2 bij Prins Clausplein

kwadratische regressie met 95% betrouwbaarheidsinterval



### weefvak type 2+2 bij Lunetten-Rijnsweert

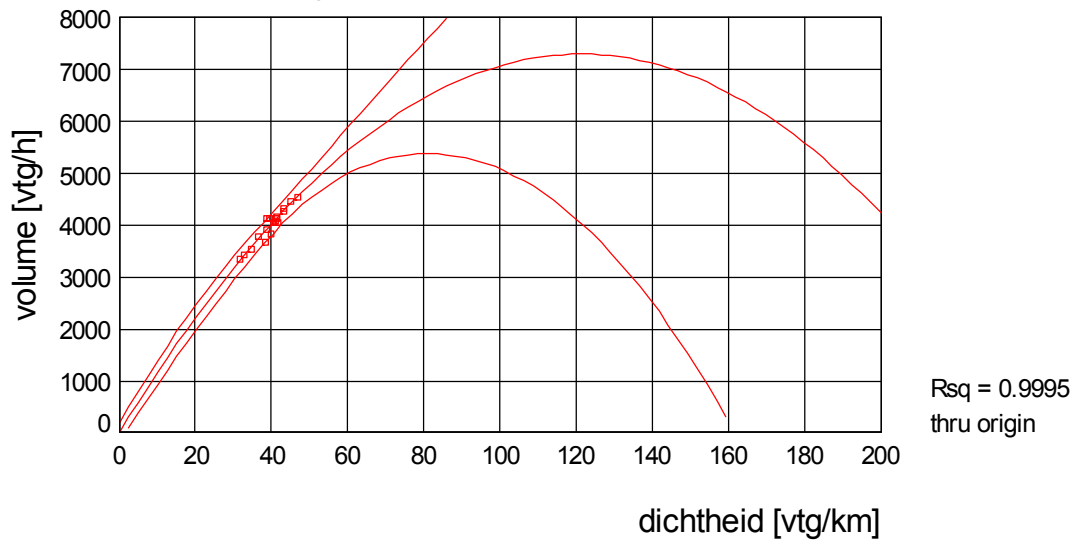
kwadratische regressie met 95% betrouwbaarheidsinterval





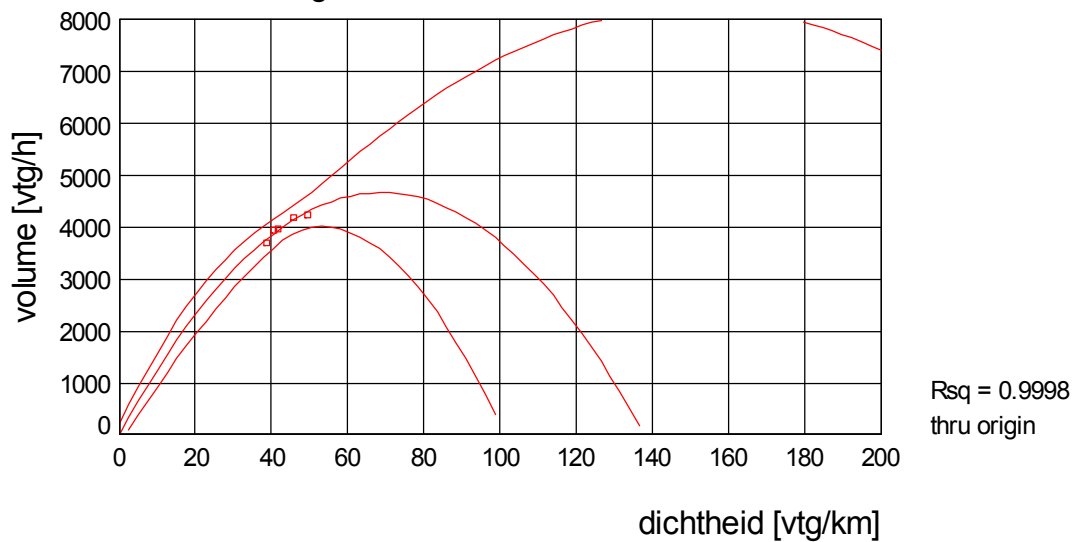
## weefvak 2+1 bij Leidschendam bovenstreams

kwadratische regressie met 95% betrouwbaarheidsinterval



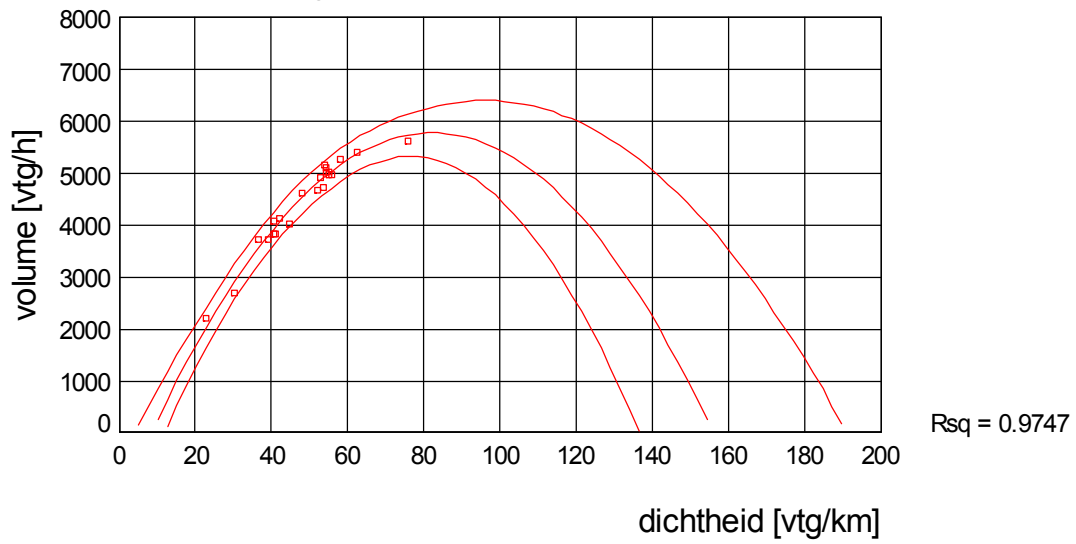
## weefvak type 2+1 bij Leidschendam benedenstreams

kwadratische regressie met 95% betrouwbaarheidsinterval



## weefvak type 2+1 bij Rosmalen

kwadratische regressie met 95% betrouwbaarheidsinterval





## Bijlage 6 Overzichtstabel met mediane capaciteitswaarden voor symmetrisch belaste weefvakken [mvt/h]

	5% vrachtverkeer						10% vrachtverkeer						15% vrachtverkeer				
<b>weefvak type 1+1</b>																	
weefvaklengte [m] % wevend	100	200	300	400	500		100	200	300	400	500		100	200	300	400	500
50	2712	2814	2880	2952	3012		2526	2616	2688	2712	2796		2388	2448	2544	2634	2676
75	2448	2562	2628	2676	2736		2328	2376	2436	2484	2580		2166	2244	2328	2364	2424
100	2388	2436	2508	2580	2640		2232	2286	2340	2364	2412		2088	2136	2202	2244	2292
<b>weefvak type 2+1</b>																	
weefvaklengte [m] % wevend	200	300	400	500	600		200	300	400	500	600		200	300	400	500	600
50	6126	6156	6228	6210	6324		5574	5580	5664	5700	5772		5130	5166	5226	5412	5382
75	5652	5676	5748	5814	6000		5100	5142	5250	5364	5556		4644	4710	4950	5076	5082
100	5208	5388	5514	5646	5676		4656	4998	5022	5112	5100		4434	4536	4566	4704	4794
<b>weefvak type 3+1</b>																	
weefvaklengte [m] % wevend	200	300	400	500	600		200	300	400	500	600		200	300	400	500	600
50	8412	8454	8490	8562	8688		7464	7530	7800	7920	7962		6804	6906	7032	7200	7332
75	7620	7734	7938	8034	8196		6534	6900	7236	7314	7380		6162	6408	6594	6660	6678
100	6960	7188	7386	7476	7566		5388	5778	6060	6468	6834		5664	5742	5862	5976	6252
<b>weefvak type 4+1</b>																	
weefvaklengte [m] % wevend	200	300	400	500	600		200	300	400	500	600		200	300	400	500	600
50	10392	10476	10620	10794	11136		9240	9360	9636	9792	9876		8118	8472	8742	8862	9030
75	9336	9618	9864	9972	10320		7920	8346	8652	8850	9108		6924	7206	7458	7734	7968
100	8394	8796	8988	9240	9264		6852	7212	7500	7758	8148		6396	6528	6726	7002	7230
<b>weefvak type 2+2</b>																	
weefvaklengte [m] % wevend	400	500	600	800	1000		400	500	600	800	1000		400	500	600	800	1000
25	8688	8748	8748	8856	9000		7974	8052	8070	8148	8196		7368	7416	7440	7542	7566
50	7428	7416	7416	7386	7530		6714	6774	6792	6828	6858		6162	6300	6396	6402	6540
75	5916	5868	5868	5964	6012		5292	5352	5364	5502	5472		5130	5106	5100	5172	5196
<b>weefvak type 3+2</b>																	
weefvaklengte [m] % wevend	400	500	600	800	1000		400	500	600	800	1000		400	500	600	800	1000
25	10920	11130	11238	11310	11370		10008	10230	10284	10398	10464		9348	9450	9552	9672	9690
50	8976	9138	9420	9504	9558		8202	8448	8454	8568	8676		7662	7716	7758	7836	7848
75	7008	7050	7170	7290	7314		6684	6684	6684	6678	6840		6066	6228	6138	6240	6264
<b>weefvak type 4+2</b>																	
weefvaklengte [m] % wevend	400	500	600	800	1000		400	500	600	800	1000		400	500	600	800	1000
25	13248	13428	13482	13692	13704		12270	12390	12498	12582	12756		11316	11430	11580	11664	11742
50	10740	10890	10956	11010	11088		9498	9684	9678	9936	9936		8724	8820	8964	9102	9084
75	8388	8820	8478	8568	8580		7710	7698	7764	7884	7878		6972	7074	7146	7248	7242

■ = beneden minimum lengte L<sub>min</sub> i.v.m. bebording bij ontwerpsnelheid van 120 km/h