



RWS INFORMATIE

Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen

Handboek, versie 4.5

Datum	6 juni 2024
Versie	Versie 4.5
Status	Definitief

Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat WVL (Water, Verkeer en Leefomgeving); Afd. Wegverkeer en Benutten
Auteur	M. van Rij (Sweco)
Contactpersoon	ir. H. Heikoop
Telefoon	06 - 29 02 48 00
E-mail	henk.heikoop@rws.nl
Datum	6 juni 2024
Versie	Versie 4.5
Status	Definitief

Voorwoord

Capaciteiten van autosnelwegen zijn gegevens die als essentieel voor het werk van Rijkswaterstaat kunnen worden aangemerkt. Een gedegen kennis van capaciteitswaarden is belangrijk voor het uitvoeren van de opgedragen taken, zoals aanleg van nieuwe infrastructuur en netwerk- en verkeersmanagement.

Voor u ligt een update van versie 4 van het Handboek Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen (CIA). Het Handboek CIA versie 4.5 is het kader van Rijkswaterstaat voor capaciteitswaarden van autosnelwegen. Ten opzichte van versie 4 is het Handboek op enkele punten herzien en is de indeling deels gewijzigd. De belangrijkste wijziging aan de indeling is de toevoeging van een samenvatting aan het begin van dit Handboek, waarin de belangrijkste en meest gebruikte capaciteitswaarden overzichtelijk zijn opgenomen. Voor frequente gebruikers voorkomt dit zoekwerk.

Het doel van het handboek is ongewijzigd gebleven: de bron van capaciteitswaarden van autosnelwegen, achtergronden en het bieden van een praktisch document voor het opzoeken van de capaciteitswaarden.

De belangrijkste redenen voor het herzien van het Handboek CIA zijn geweest:

- het aanvullen van het handboek met nieuwe kennis en inzichten;
- het actualiseren en uitbreiden van de capaciteitswaarden;
- het verbeteren van de structuur van het handboek.

Het Handboek CIA in het kort

De capaciteitswaarden in dit handboek zijn uitgedrukt in mvt/h. Tenzij anders vermeld, betreffen de waarden de vrije capaciteit en gelden ze bij een percentage vrachtverkeer van 15 %. Het omrekenen naar capaciteitswaarden bij andere percentages vrachtverkeer staat beschreven in paragraaf 4.3.

In de samenvatting zijn de meest gebruikte capaciteitswaarden opgenomen. Capaciteitswaarden van andere situaties én onderbouwing en achtergrond bij deze waarden is opgenomen in hoofdstuk 3 tot en met 5.

In hoofdstuk 3 zijn de capaciteitswaarden vermeld voor de vrije capaciteit onder standaard omstandigheden. De capaciteitswaarden voor wegvakken zijn aangegeven in paragraaf 3.1. In paragraaf 3.2 en bijlagen D en E zijn de capaciteitswaarden voor weefvakken te vinden. Van andere typen discontinuïteiten is in paragraaf 3.3 tot en met 3.9 de verhouding van de capaciteit ten opzichte van een standaard wegvak beschreven.

In hoofdstuk 4 zijn correctiefactoren vermeld om de capaciteit te kunnen bepalen onder afwijkende (niet standaard) omstandigheden. De afrijcapaciteitswaarden bij werk in uitvoeringssituaties zijn in hoofdstuk 5 aangegeven.

In paragraaf 0 zijn de uitgangspunten opgenomen, die zijn gehanteerd bij het bepalen van de capaciteitswaarden en is beschreven wat onder standaard omstandigheden wordt verstaan. Dit is ook samengevat in Tabel 3.1.

Overzicht kaderstellende standaard capaciteitswaarden

In dit overzicht zijn de meest gebruikte capaciteitswaarden onder standaard omstandigheden opgenomen. Een vollediger overzicht van diverse (minder gebruikte) situaties is opgenomen in Hoofdstuk 3. Voor autosnelwegen in Nederland dienen de volgende capaciteitswaarden aangehouden te worden bij alle onderzoeken, studies, applicaties, verkeersmodellen en analyses.

Indien dit Handboek voor een specifieke situatie geen capaciteit of een capaciteitswaarde met afwijkende parameters aangeeft, dan moet met FOSIM een aanvullende analyse worden uitgevoerd. FOSIM is het microscopisch dynamische verkeersmodel dat als enige gekalibreerd en gevalideerd is voor Nederlandse autosnelwegen (zie paragraaf 2.6). Indien een ander dynamisch verkeersmodel gebruikt wordt dan FOSIM, zal aangetoond moeten worden dat capaciteitswaarden conform dit Handboek en/of berekende capaciteitswaarde met FOSIM door betreffende dynamische verkeersmodel worden gereproduceerd.

Capaciteitswaarden wegvakken

Tabel 1 geeft waarden voor de vrije capaciteit van autosnelwegen, afhankelijk van het aantal rijstroken. Een verdere onderbouwing van deze capaciteitswaarden is opgenomen in hoofdstuk 3.

Bij het gebruik van de capaciteitswaarden dient rekening gehouden te worden met een maximale I/C-verhouding (de verhouding tussen de intensiteit en de capaciteit) van 0,8. Een hogere I/C-verhouding zal leiden tot regelmatige of structurele file (zie voor meer informatie paragraaf 2.7).

Tabel 1

Capaciteitswaarden van wegvakken, invoegstroken en afvallende rijstroken bij 15 % vrachtverkeer

wegvak	invoeging	rijstrookbeëindiging	capaciteit [mvt/h]	Opmerkingen
1 rijstrook			1.900	lengte > 1.500 m
1 rijstrook		van 2 naar 1 rijstrook	2.100	lengte < 1.500 m
2 rijstroken	2 rijstroken + invoegstrook	van 3 naar 2 rijstroken	4.100	
3 rijstroken	3 rijstroken + invoegstrook	van 4 naar 3 rijstroken	6.200	
4 rijstroken	4 rijstroken + invoegstrook	van 5 naar 4 rijstroken	8.200	
5 rijstroken	5 rijstroken + invoegstrook	van 6 naar 5 rijstroken	10.000	
6 rijstroken	6 rijstroken + invoegstrook	van 7 naar 6 rijstroken	11.700	
7 rijstroken	7 rijstroken + invoegstrook	van 8 naar 7 rijstroken	13.300	

Tabel 2

Capaciteitswaarden spitsstroken, tapers en verbindingswegen bij 15 % vrachtverkeer

wegvak	breedte spitsstrook	capaciteit [mvt/h]
Spitsstroken		
2 rijstroken + spitsstrook rechts	Bij krappere dwarsprofiel dan standaard	6.000
2 rijstroken + spitsstrook links (plusstrook)	3,10 meter	6.200
2 rijstroken + spitsstrook links (plusstrook)	2,5-2,75 meter	6.000
Tapersamenvoegingen		
Tapersamenvoeging 2 + 2 rijstroken > 3		5.800
Tapersamenvoeging 3 + 2 rijstroken > 4		8.000
Knooppunten		
Verbindingsweg (klaverbladlus) 1 rijstrook		1.650
Verbindingsweg (overig) 1 rijstrook		1.700
Verbindingsweg (overig) 2 rijstroken		3.000

Alle in dit hoofdstuk genoemde capaciteitswaarden hebben betrekking op standaard omstandigheden voor het betreffende segment. Deze “standaardomstandigheden” zijn in Tabel 3 vermeld.

In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op verschillende factoren en omstandigheden die van invloed (kunnen) zijn op de capaciteit. Bij afwijkende omstandigheden en/of vormgeving dient een aangepaste waarde voor de capaciteit te worden bepaald met behulp van de reductiefactoren uit hoofdstuk 4.

Tabel 3

Standaardomstandig
heden waaronder
capaciteitswaarden
zijn bepaald

Standaardomstandigheden bij de capaciteitswaarden
• een maximumsnelheid van 100 km/h of hoger; • uitgaande van een percentage vrachtverkeer van 15 %; • werkdagverkeer (frequente gebruikers van hetzelfde traject); • vormgeving conform de vigerende richtlijnen voor autosnelwegen; • geen grote objecten (zeer) dicht langs de weg, bijvoorbeeld geluidsschermen; • geen afleiding als gevolg van objecten of gebeurtenissen naast de weg; • zonder steile hellingen (< 2,5 %) of flauwe hellingen over lange afstand; • in daglicht en bij droog weer (minder dan 2 mm/uur neerslag); • een goede staat van het (ZOAB) wegdek; • inclusief verkeerssignalering; • zonder (overige) verkeersmanagementmaatregelen.

Capaciteitswaarden weefvakken

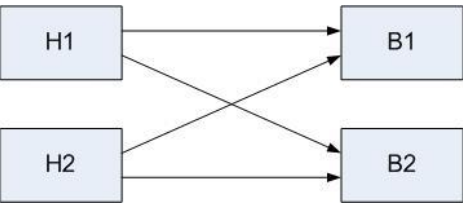
In de onderstaande tabel is de capaciteit opgenomen van enkele van de meest voorkomende weefvakconfiguraties. Een uitgebreidere beschrijving van de factoren die van invloed zijn op de capaciteit van een weefvak is weergegeven in paragraaf 3.2. Daar en in de bijlagen zijn ook capaciteitswaarden weergegeven voor meer verschillende configuraties en verschillende percentages wevende verkeersstromen.

De capaciteitswaarden gelden voor standaard omstandigheden zoals vermeld in Tabel 3 en bij de genoemde percentages wevende stromen. Bij afwijkende omstandigheden, vormgeving of wevende stromen dient een aangepaste waarde voor de capaciteit te worden bepaald. Vaak is een simulatie met behulp van FOSIM dan noodzakelijk.

Tabel 4

Capaciteitswaarden van Enkele veel voorkomende weefvakconfiguraties met 15 % vrachtverkeer

weefvak configuratie	weefvaklengte [m]	H2 -> B1 [%]	H1 -> B2 [%]	capaciteit [mvt/h]
weefvak 1+1 ¹	200	100 %	100 %	1.750
weefvak 2+1	600	50 %	25 %	5.590
		75 %	38 %	5.100
		100 %	50 %	4.860
weefvak 3+1	700	50 %	17 %	7.570
		75 %	23 %	6.840
		100 %	33 %	6.440
weefvak 2+2	750	25 %	25 %	7.690
		50 %	50 %	6.640
		75 %	75 %	5.620
weefvak 3+2	900	25 %	17 %	9.710
		50 %	33 %	8.290
		75 %	50 %	6.790



Capaciteitswaarden niet-autosnelwegen

De capaciteit van een autoweg ligt iets lager dan die van een autosnelweg met hetzelfde aantal rijstroken.

Tabel 5

Capaciteitswaarden niet-autosnelwegen

wegvak	capaciteit [mvt/h]
Autoweg 1 rijstrook (2x1)	1.650
Autoweg 2 rijstroken (2x2)	3.500

¹ Het 1+1 weefvak (200m) heeft betrekking op rangeerbanen in klaverbladen.

Capaciteit bij afwijkende omstandigheden

De capaciteit van situaties die niet aan de standaardomstandigheden van Tabel 3 voldoen, kunnen voor een deel van de afwijkingen berekend worden met behulp van reductiefactoren. Door de standaard capaciteitswaarde te vermenigvuldigen met deze reductiefactor, kan de capaciteit met de betreffende afwijking/invloedsfactor berekend worden.

In de onderstaande tabel is een selectie van vaker voorkomende invloedsfactoren opgenomen, waarvoor er tevens een concrete reductiefactor bekend is. In Hoofdstuk 5 is een uitgebreider overzicht opgenomen van invloedsfactoren.

Tabel 6

Reductiefactoren van
frequent voorkomende
invloedsfactoren

Invloedsfactor	Reductiefactor	Opmerkingen
Smalle rijstrook (2,50 – 2,75 meter)	0,75 – 0,80	Voor betreffende rijstrook, afhankelijk van situatie en overige vormgeving
Ontbreken vluchtstrook	Geen effect	Enkel geen effect indien overige vormgeving conform ROA. Wel invloed op robuustheid
Regen – licht tot matig	0,95	Afhankelijk van type asfalt
Regen – zwaar	0,90	Afhankelijk van type asfalt
Donker – met wegverlichting	0,97	
Donker – zonder wegverlichting	0,95	
Geen verkeerssignalering aanwezig	1,00 – 0,95	Gemiddeld 0,98

Zie Hoofdstuk 4 voor bronverwijzing bij de genoemde reductiefactoren

Capaciteit bij Werk in Uitvoering

Bij Werk in Uitvoering (WIU) worden afwijkende capaciteitswaarden gehanteerd ten opzichte van de in Tabel 1 genoemde waarden. In Hoofdstuk 5 zijn waarden opgenomen voor diverse uitvoeringsvormen van wegafzettingen en werkvakken.

Omrekenen percentage vrachtverkeer

De capaciteitswaarden uit dit Handboek gelden bij 15 % vrachtverkeer. Voor situaties met een ander percentage vrachtverkeer, dient deze capaciteitswaarde omgerekend te worden naar het ter plaatse geldend percentage vrachtverkeer.

Voor het omrekenen kan de formule gebruikt worden die is opgenomen in paragraaf 4.3.1. Voor een snelle omrekening van het percentage vrachtverkeer kan ook gebruik gemaakt worden van de reductiefactoren in Tabel 7.

Tabel 7

Reductiefactoren
verkeerssamenstelling
bij een pae-factor van
2,0

Van % vrachtverkeer	naar % vrachtverkeer (bij een pae-factor van 2,0)						
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
0 %	1,00	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,77
5 %	1,05	1,00	0,95	0,91	0,88	0,84	0,81
10 %	1,10	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88	0,85
15 %	1,15	1,10	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88
20 %	1,20	1,14	1,09	1,04	1,00	0,96	0,92
25 %	1,25	1,19	1,14	1,09	1,04	1,00	0,96
30 %	1,30	1,24	1,18	1,13	1,08	1,04	1,00

Inhoud

Voorwoord 3
Het Handboek CIA in het kort 3

Overzicht kaderstellende standaard capaciteitswaarden 6

Capaciteitswaarden wegvakken 6
Capaciteitswaarden weefvakken 8
Capaciteitswaarden niet-autosnelwegen 8
Capaciteit bij afwijkende omstandigheden 9
Capaciteit bij Werk in Uitvoering 9
Omrekenen percentage vrachtverkeer 9

1 Inleiding 13

1.1 Doel van het Handboek CIA 13
1.2 Doelgroep 13
1.3 Relatie met andere richtlijnen 13
1.4 Leeswijzer 14

2 Inleiding tot capaciteit 16

2.1 Verkeersafwikkeling 16
2.2 Definitie van capaciteit en gehanteerde uitgangspunten 18
2.3 Capaciteit is geen vaste statische waarde 20
2.4 Verschil tussen de vrije capaciteit en afrijcapaciteit 20
2.5 Capaciteitswaarden en de maatgevende intensiteit (I) 21
2.6 Bepalen van capaciteitswaarden (C) 21
2.7 Gebruik van de I/C-verhouding 22
2.8 Gebruikte methoden om capaciteitswaarden te bepalen 25
2.8.1 Afrijcapaciteit met de empirische-distributiemethode 25
2.8.2 Vrije capaciteit op basis van de product-limietmethode 26
2.8.3 De FOSIM-methode 27
2.8.4 De fundamenteel-diagrammethode 28
2.8.5 De Van Aerde-methode 29
2.9 Capaciteit en verkeersmodellen 29
2.10 Capaciteit en betrouwbaarheid van een netwerk 30
2.11 Robuustheid van een netwerk 33

3 Capaciteitswaarden onder standaard omstandigheden 35

3.1 Capaciteit van een wegvak, invoeging en rijstrookbeëindiging 36
3.2 Capaciteit van een weefvak 38
3.3 Capaciteit van een uitvoeging 47
3.4 Capaciteit van een samenvoeging 47
3.5 Capaciteit van een tapersamenvoeging 48
3.6 Capaciteit van een splitsing 50
3.7 Capaciteit van knooppunten 51
3.8 Capaciteit van hoofd- en parallelstructuur 52
3.9 Capaciteit van een extra strook 53
3.10 Capaciteit van autowegen en het onderliggend wegennet 53

4 Capaciteitswaarden bij afwijkende omstandigheden 55

4.1 Infrastructurele factoren 55
4.1.1 Dwarsprofiel 55

4.1.2	Objectafstand	57
4.1.3	Vluchtstroken	57
4.1.4	Hellingen	57
4.1.5	Horizontale en verticale boogstralen	58
4.1.6	Staat en type wegdek	58
4.1.7	Tunnel	58
4.2	Omgevingsfactoren	59
4.2.1	Regen	59
4.2.2	Mist	60
4.2.3	Lichtcondities	60
4.2.4	Afleiding	60
4.3	Verkeersfactoren	61
4.3.1	Verkeerssamenstelling	61
4.3.2	Onbekendheid van bestuurders met de situatie	62
4.4	Verkeersmanagementfactoren	63
4.4.1	Verkeerssignalering	63
4.4.2	Afkruisen van rijstroken	64
4.4.3	Spitsstroken rechts en links (plusstrook)	64
4.4.4	Inhaalverbod voor vrachtverkeer	65
4.4.5	Toeritdoseerinstallatie (TDI)	66
4.4.6	Dynamische route informatiepanelen (DRIP's)	67
4.4.7	Snelheidsmaatregelen	67
4.5	Ontwikkelingen in-carsystemen en ITS	68
4.6	Incidentele factoren	69
4.7	Combineren van verschillende invloedsfactoren	69

5 Capaciteitswaarden bij Werk in Uitvoering 70

5.1	Capaciteitswaarden bij werk in uitvoering	70
5.2	Achtergrond configuraties weefvakken bij werk in uitvoering	72
5.3	Invloedsfactoren bij werk in uitvoering	74

Literatuur 77

Bijlage A	Begrippenlijst
Bijlage B	Capaciteitswaarden invoeging, rijstrookbeëindiging en spitsstroken
Bijlage C	Vershil capaciteitswaarden tussen de verschillende versies van het Handboek CIA
Bijlage D	Capaciteitswaarden symmetrische weefvakken
Bijlage E	Capaciteitswaarden asymmetrische weefvakken
Bijlage F	Afrijcapaciteiten symmetrische weefvakken
Bijlage G	Afrijcapaciteiten asymmetrische weefvakken
Bijlage H	Effect van diverse invloedsfactoren op de capaciteit van een weefvak
Bijlage I	Omrekenfactoren percentage vrachtverkeer
Bijlage J	Verificatie capaciteitswaarden weefvakken en WIU

1 Inleiding

Dit handboek is een update van de versie van het Handboek CIA (verder genoemd *versie 4.5*), oftewel het *Handboek Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen*. Het is uitgebracht door de Dienst Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) van Rijkswaterstaat.

In dit handboek vindt u belangrijke informatie op het gebied van capaciteit van het Nederlandse autosnelwegennet. De capaciteitswaarden in dit handboek zijn de waarden die voor Rijkswegen moeten worden gehanteerd.

Bij het ontwerpen, aanpassen en beheer van (toekomstige) autosnelwegen speelt een gedegen kennis van capaciteit een steeds belangrijker rol. Kennis van de capaciteit van autosnelwegen is om diverse redenen noodzakelijk:

- om zo efficiënt mogelijk toekomstige infrastructuur te ontwerpen met behoud van de kwaliteit van de verkeersafwikkeling;
- om bij een gegeven verkeersbehoefte de juiste wegconfiguratie te bepalen;
- als invoergegevens van verkeersmodellen;
- ter ondersteuning van verkeersmanagementmaatregelen;
- ten behoeve van een goede besluitvorming (beleidsmatig).

In de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA) wordt nadrukkelijk naar het Handboek CIA verwezen. Tevens staat het Handboek CIA vermeld als kader op de VKA-site van intranet van Rijkswaterstaat WVL en is daarvan eveneens te downloaden. Tevens is het Handboek CIA te downloaden via de website van Rijkswaterstaat onder Richtlijnen autosnelwegen.

1.1 Doel van het Handboek CIA

Het doel van dit handboek is de meest recente kennis en inzichten van capaciteitswaarden van autosnelwegen in Nederland beschikbaar te stellen. Het Handboek CIA versie 4.5 vormt daarmee het kader (richtlijn) voor Rijkswaterstaat.

1.2 Doelgroep

Het handboek is in eerste instantie geschreven voor verkeerskundigen en wegontwerpers van Rijkswaterstaat en adviesbureaus. Echter, ook beleidsmedewerkers en andere geïnteresseerden kunnen dit Handboek gebruiken.

Om het kader goed te kunnen toepassen, wordt in hoofdstuk 3 het begrip capaciteit toegelicht en worden uitgangspunten, wijze van gebruik en achtergronden aangegeven.

Mocht u behoefte hebben aan extra informatie, dan zijn rapportages uit de literatuurlijst van dit handboek te raadplegen of kan contact opgenomen worden met Rijkswaterstaat Dienst Water, Verkeer en Leefomgeving.

1.3 Relatie met andere richtlijnen

In de afgelopen jaren zijn een aantal richtlijnen en handboeken voor het ontwerpen van verschillende onderdelen van autosnelwegen herschreven. Het gaat hierbij om de volgende richtlijnen:

- Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA);
- ROA Veilige Inrichting van Bermen;
- ROA Verlichting;

- Handreiking Bewegwijzeringsschema's, Bewegwijzering Autosnelwegen;
- Kader Bewegwijzering.

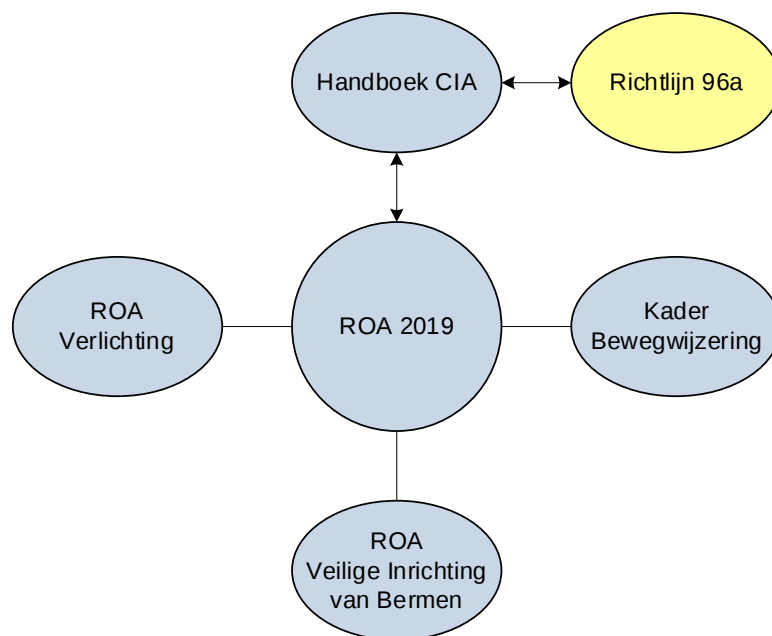
Bij het herschrijven van deze handboeken is een structuur aangehouden, waarbij de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA) wordt neergezet als basisrichtlijn, waarin alle benodigde richtlijnen worden gegeven voor het ontwerpen van autosnelwegen in standaardsituaties. Voor specifieke onderdelen of nadere toelichting/onderbouwing wordt vanuit de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen verwezen naar specifieke richtlijnen. Bovenstaande versies zijn de vigerende versies ten tijde van de publicatie van dit Handboek. Controleer bij gebruik altijd de laatste stand van de vigerende versie.

Daarnaast heeft het Handboek CIA ook een relatie met de CROW-Richtlijn Werk In Uitvoering 96a op het gebied van capaciteitswaarden voor verschillende configuraties van werkvakken.

Zodoende ontstaat een schematische structuur zoals weergegeven in Afbeelding 1.1.

Afbeelding 1.1

Handboek CIA in relatie tot ROA



Voor het Handboek CIA is deze werkwijze ook aangehouden. Dit betekent dat het Handboek CIA is opgesteld als kaderstellend kennisdocument inclusief de achtergronden en onderbouwingen bij de capaciteitswaarden van autosnelwegen. In de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen is een selectie van de capaciteitswaarden voor standaard omstandigheden uit het (vigerend) Handboek CIA overgenomen.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 0 is een overzicht opgenomen van de meest gebruikte standaard capaciteitswaarden. Daarnaast is ook een omrekeningstabel opgenomen om van de capaciteit bij het als standaard gehanteerde percentage vrachtverkeer te komen

naar de capaciteit bij het ter plaatse geldende percentage vrachtverkeer. Een uitgebreider overzicht van capaciteitswaarden is opgenomen in hoofdstuk 3.

In hoofdstuk 2 wordt een nadere toelichting gegeven over de betekenis van de term capaciteit en de manier waarop gebruik gemaakt moet worden van capaciteitswaarden. Hier zijn ook de aannames en uitgangspunten beschreven, die gehanteerd zijn bij de bepaling van de capaciteitswaarden in dit handboek.

In hoofdstuk 3 zijn capaciteitswaarden opgenomen voor verschillende delen van een autosnelweg onder standaard omstandigheden.

In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op verschillende factoren en omstandigheden, die van invloed (kunnen) zijn op de capaciteit. Voor deze afwijkende omstandigheden worden reductiefactoren gegeven, die toegepast kunnen worden op de capaciteitswaarden uit hoofdstuk 3.

Tot slot worden in hoofdstuk 5 waarden voor de afrijcapaciteit gegeven voor diverse type wegconfiguraties bij werk in uitvoering.

2 Inleiding tot capaciteit

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op wat onder capaciteit wordt verstaan, welke uitgangspunten zijn gehanteerd en wordt algemene achtergrondinformatie over capaciteitsbepaling gegeven.

2.1 Verkeersafwikkeling

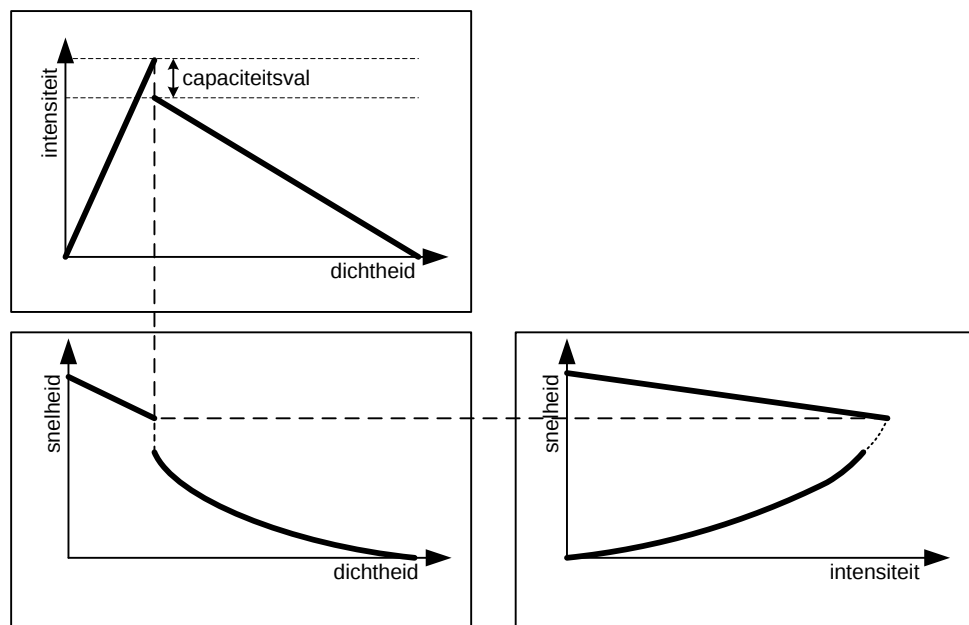
Algemeen gesteld is verkeersafwikkeling 'het voortbewegen van motorvoertuigen in een verkeersruimte (i.c. de weg)'. De verkeersafwikkeling kan worden beschreven met drie stroomvariabelen:

- intensiteit; dit is het aantal motorvoertuigen dat per tijdseenheid een wegdoorsnede passeert, weergegeven in motorvoertuigen per uur;
- snelheid; hiermee wordt de gemiddelde snelheid van alle motorvoertuigen op een stuk weg bedoeld, weergegeven in kilometers per uur;
- dichtheid; dit is het aantal motorvoertuigen dat zich per eenheid van lengte op een stuk weg bevindt, weergegeven in motorvoertuigen per kilometer.

Als op een wegdoorsnede bovenstaande grootheden worden gemeten, kunnen niet alle combinaties van waarden voorkomen. Het verkeer kan bijvoorbeeld volledig tot stilstand komen; in zo'n geval is het aantal motorvoertuigen dat op een stuk weg staat (de dichtheid) niet willekeurig, maar hangt het samen met de ruimte die elk voertuig inneemt. Dit getal (deze dichtheid) is zodoende een kenmerk van een bepaalde verkeersafwikkeling. De drie stroomvariabelen en hun onderlinge samenhang worden vaak weergegeven in zogenaamde basisdiagrammen. Afbeelding 2.1 geeft hiervan een voorbeeld.

Afbeelding 2.1

Principe van het basisdiagram en de relatie tussen intensiteit, snelheid en dichtheid

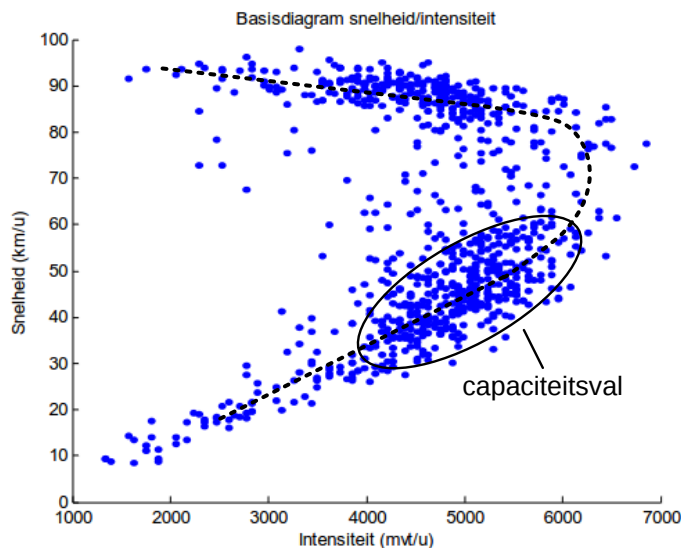


Bij de basisdiagrammen, zoals weergegeven in Afbeelding 2.1, kunnen een aantal zaken opgemerkt worden:

- er zijn twee verschillende toestanden: 'free flow' ofwel vrije afwikkeling (de linker tak van het intensiteits-dichtheidsdiagram) en 'congestie' ofwel gedwongen afwikkeling (de rechter tak van het intensiteits-dichtheidsdiagram);
- het omslagpunt wordt bereikt bij een maximale waarde voor de intensiteit, de capaciteit;
- de getekende basisdiagrammen zijn theoretisch van aard. Bij metingen in de praktijk worden geen precies gedefinieerde lijnen gevonden maar een puntenwolk rondom deze theoretische lijn. Vooral bij congestie kan er een grote spreiding zitten rondom deze theoretische lijn, zoals in Afbeelding 2.2 te zien is als voorbeeld.

Afbeelding 2.2

Voorbeeld van gemeten intensiteiten en snelheden op een doorsnede weergegeven in het basisdiagram



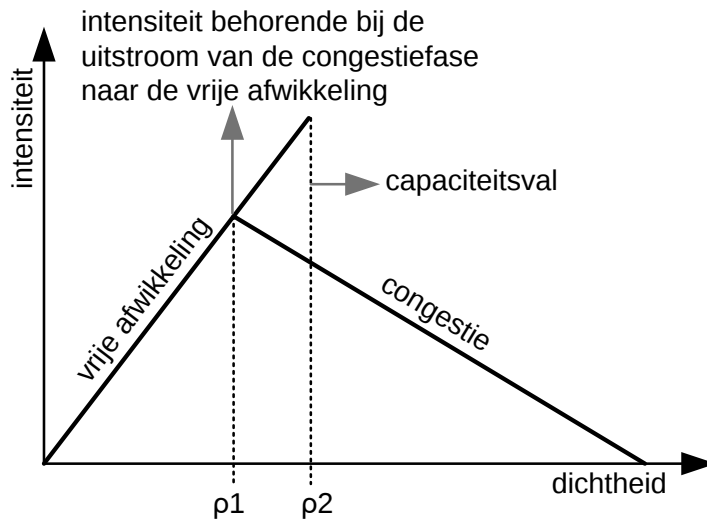
Capaciteitsval

In het basisdiagram wordt vlakbij het omslagpunt bijna altijd een 'sprong' waargenomen, waar de lijn bij vrije afwikkeling en bij congestie niet naadloos op elkaar aansluiten. De vorm van het basisdiagram met de dichtheid op de x-as en de intensiteit op de y-as staat weergegeven in Afbeelding 2.3. De discontinuïteit die waargenomen wordt, hangt samen met de capaciteitsval, die plaatsvindt bij de faseovergang bij het omslagpunt van vrije verkeersafwikkeling (free flow) naar congestie (file). Om vanuit de congestie weer terug te kunnen keren naar vrije verkeersafwikkeling, zal de intensiteit moeten afnemen tot onder het omslagpunt. De intensiteit na de faseovergang van congestie naar vrije verkeersafwikkeling zal daardoor niet gelijk zijn aan de maximale intensiteit. Het gedrag bij dit proces is bekend als hysteresis. In Afbeelding 2.2 is ook in zekere mate de capaciteitsval zichtbaar: de metingen tijdens congestie liggen voor het merendeel lager dan de capaciteit.

Zodra congestie ontstaat, zal dus een capaciteitsdaling optreden. Het is daarom van belang, onderscheid te maken tussen een capaciteitswaarde voor een situatie met vrije afwikkeling en een situatie met congestie. Hiervoor worden respectievelijk de termen vrije capaciteit en afrijcapaciteit gebruikt (zie paragraaf 2.4).

Afbeelding 2.3

Het basisdiagram met een discontinuïteit



2.2 Definitie van capaciteit en gehanteerde uitgangspunten

Capaciteit is een kenmerk van de verkeersafwikkeling en kan worden gezien als de maximale intensiteit die op kan treden. Voor dit handboek wordt de onderstaande definitie van de term capaciteit² gebruikt.

Capaciteit is het maximaal aantal motorvoertuigen per tijdseenheid (meestal uitgedrukt in motorvoertuigen per uur) waarvan in redelijkheid kan worden aangenomen dat ze een doorsnede of uniform segment van een strook of een rijbaan kunnen passeren gedurende een bepaalde tijdsperiode onder de heersende weg-, verkeers-, en beheercondities.

In bovenstaande definitie komt een aantal elementen terug die hieronder nader worden toegelicht. Tevens is aangegeven welke uitgangspunten voor het handboek worden gehanteerd.

De capaciteit wordt uitgedrukt in motorvoertuigen per uur

Dit betekent dat de capaciteitswaarde alleen geldt voor een specifiek percentage vrachtverkeer. Indien het aandeel vrachtverkeer toeneemt, dan zal de capaciteitswaarde afnemen. De invloed van het percentage vrachtverkeer op de capaciteitswaarde is beschreven in paragraaf 4.3.

De capaciteitswaarden in dit handboek gelden bij een percentage vrachtverkeer van 15 %, tenzij anders vermeld.

'Waarvan in redelijkheid kan worden aangenomen'

Bij ogenschijnlijk gelijke omstandigheden kunnen op verschillende momenten toch verschillende waarden worden gevonden voor de maximale intensiteit. Zo zullen dezelfde bestuurders onder dezelfde omstandigheden niet altijd dezelfde beslissingen nemen en bovendien is nooit precies dezelfde mix van bestuurders aanwezig. Hierdoor wordt bij dezelfde omstandigheden steeds een (iets) andere

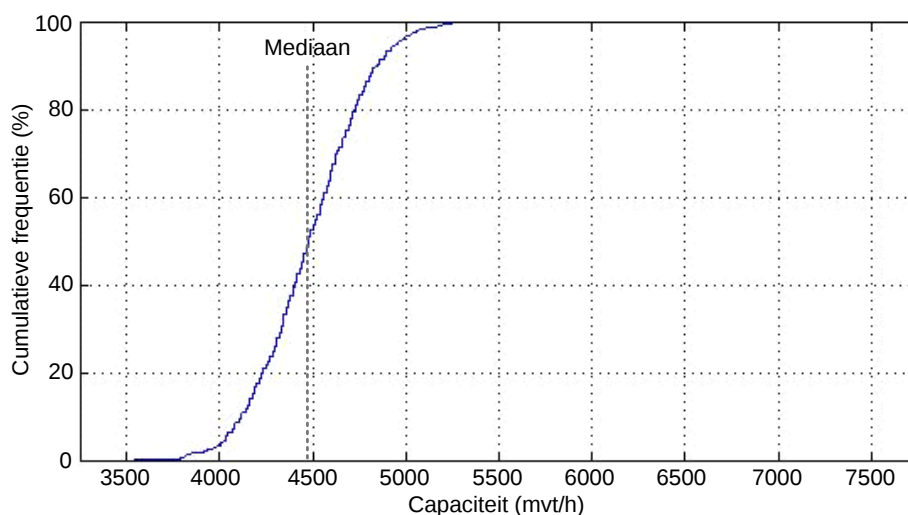
² De CIA-definitie van de capaciteit komt grotendeels overeen met de HCM-definitie. De HCM (Highway Capacity Manual) is het Amerikaanse capaciteitshandboek (HCM 2000).

capaciteit gemeten. Er treedt daardoor een spreiding in gemeten capaciteitswaarden op en is daarmee een stochast. Voor de capaciteitswaarde wordt de mediaan waarde van deze gevonden maximale intensiteiten genomen. Meestal wordt aangenomen dat de spreiding om de capaciteit heen normaal verdeeld is.

In het handboek wordt als capaciteitswaarde de mediaan van de capaciteitsverdeling gebruikt, dus de waarde waarbij 50 % van de capaciteitswaarden (iets) hoger liggen, en 50 % van de capaciteitswaarden (iets) lager. In Afbeelding 2.4 is een voorbeeld weergegeven van een capaciteitsverdeling waarbij van 100 capaciteitswaarden de mediaan als capaciteitswaarde is gebruikt.

Afbeelding 2.4

Verdeling van
capaciteitswaarnemingen



Gedurende een bepaalde tijdsperiode

Meet men gedurende korte perioden (bijvoorbeeld steeds 1 minuut) en bepaalt men voor al deze metingen de maximale intensiteit, dan zal de gemeten capaciteit en de spreiding over het algemeen iets hoger zijn dan bij metingen van de intensiteit over langere perioden (bijvoorbeeld per 15 minuten). De meetperiode die wordt beschouwd, wordt ook wel aggregatieniveau genoemd.

In het handboek wordt als aggregatieniveau 5 minuten gebruikt (tenzij anders aangegeven).

Onder de heersende weg-, verkeers-, en beheercondities

Een capaciteitswaarde geldt in principe alleen voor een specifieke situatie en voor specifieke omstandigheden. Dit betekent dat de capaciteitswaarde bijvoorbeeld alleen geldt:

- voor een bepaalde vormgeving van de infrastructuur;
- onder bepaalde weers- en lichtomstandigheden;
- belast met bepaalde verkeersbewegingen en met een bepaalde verkeerssamenstelling;
- al dan niet gestuurd met bepaalde verkeersmanagementmaatregelen;
- mogelijk onder invloed van nog andere (al dan niet tijdelijke) factoren.

In dit handboek worden als basis steeds capaciteitswaarden gegeven voor standaard omstandigheden. Dat wil zeggen, voor een situatie waarin de capaciteit niet negatief beïnvloed wordt door de verschillende invloedsfactoren zoals benoemd in hoofdstuk 4.

Dit betekent dat de standaard capaciteitswaarden gelden indien:

- Een maximumsnelheid van 100 km/h of hoger;
- werkdagverkeer (frequente gebruikers van hetzelfde traject);
- vormgeving conform de vigerende richtlijnen voor autosnelwegen;
- geen grote objecten (zeer) dicht langs de weg, bijvoorbeeld geluidsschermen;
- geen afleiding als gevolg van objecten of gebeurtenissen naast de weg;
- zonder steile hellingen ($< 2,5\%$) of flauwe hellingen over lange afstand;
- in daglicht en bij droog weer (minder dan 2 mm/uur neerslag);
- een goede staat van het (ZOAB) wegdek;
- inclusief verkeerssignalering;
- zonder (overige) verkeersmanagementmaatregelen.

Per wegsituatie (weefvak, invoegstrook, aantal rijstroken, et cetera) wordt een capaciteitswaarde gegeven in hoofdstuk 3. De invloed van de (globale) invloedsfactoren op deze capaciteit is beschreven in hoofdstuk 4. De capaciteitswaarden in werkvakken (werk in uitvoering) staan in hoofdstuk 5.

2.3 Capaciteit is geen vaste statische waarde

De verkeersafwikkeling en daarmee de capaciteit is zoals hierboven beschreven, afhankelijk van de heersende weg-, verkeers-, en beheercondities. Behalve dat de capaciteit verandert door veranderingen in deze condities, wordt de capaciteit ook beïnvloed door de in paragraaf 2.2 genoemde variaties in samenstelling van weggebruikers en hun variatie in gedrag, waardoor de capaciteit dan weer iets hoger is en dan weer iets lager is.

2.4 Verschil tussen de vrije capaciteit en afrijcapaciteit

In paragraaf 2.1 is aangegeven dat een capaciteitsdaling kan optreden zodra congestie (file) ontstaat. Voordat de congestie ontstaat, kunnen meer motorvoertuigen passeren dan (met congestie) uit de file kunnen weggrijden. Het is dus van belang om onderscheid te maken tussen een capaciteitswaarde voor een situatie in vrije afwikkeling en een situatie met congestie. Hiervoor worden respectievelijk de termen vrije capaciteit en afrijcapaciteit gebruikt.

Vrije capaciteit is de capaciteit die wordt gemeten (kort) voordat congestie ontstaat. De afrijcapaciteit is de capaciteit die stroomafwaarts van een file wordt gemeten.

Het verschil tussen vrije capaciteit en afrijcapaciteit is sterk afhankelijk van de lokale situatie. De afrijcapaciteit is in de meeste situaties 10 - 15 % lager dan vrije capaciteit. In Grontmij (2009) was de afrijcapaciteit op 75 locaties gemiddeld 15 % lager dan de vrije capaciteit. In recentere capaciteitsmetingen (zie o.a. Arcadis 2017, Arcadis 2019 en Arcadis 2019b) is eenzelfde afname zichtbaar. Opgemerkt wordt dat hierbij een spreiding over de verschillende locaties (en omstandigheden) optrad tussen 0 % lager en 35 % lager.

De afrijcapaciteit wordt vaak gebruikt in situaties waar filevorming te verwachten valt, bijvoorbeeld bij werk in uitvoeringsvraagstukken en bij (dynamisch) verkeersmanagementmaatregelen. De vrije capaciteit wordt gebruikt bij het ontwerpen van autosnelwegen en veel toegepast als invoergegeven voor verkeersmodellen.

Indien de vrije capaciteit wordt gebruikt voor de verkeersafwikkeling, is de maximaal toelaatbare I/C-verhouding gelijk aan 0,8 voor een vrije ongestoorde afwikkeling (zie paragraaf 2.7). De kans op filevorming is dan, afgezien van incidenten, veel kleiner dan 1 %. Wordt de afrijcapaciteit gebruikt, dan kan in

principe een maximale I/C-verhouding van 1,0 worden toegelaten. Er zal in dat laatste geval dan wel sprake zijn van congestie.

In het handboek wordt als capaciteitswaarde de vrije capaciteit gegeven. Als over capaciteit wordt gesproken dan wordt in principe de vrije capaciteit bedoeld. De afrijcapaciteit is, indien bekend, in de bijlagen opgenomen.

2.5 Capaciteitswaarden en de maatgevende intensiteit (I)

In principe dient bij ontwerp uitgegaan te worden van een goede verkeersafwikkeling op autosnelwegen, waarbij de kans op congestie (zeer) klein is. Dit houdt in dat de hoogste intensiteit, die op kan treden, in principe verwerkt moet kunnen worden zonder congestie. De hoogste intensiteiten treden meestal tijdens de spitsuren van werkdagen op. Daarom worden autosnelwegen ontworpen op het maatgevende spitsuur (ochtend- of avondspits) van een over het jaar gemiddelde werkdag. De intensiteiten kunnen uit tellingen of uit een verkeersmodel afkomstig zijn. Spitsuurintensiteiten uit tellingen zijn goed bruikbaar, indien een betreffende situatie gedurende een beperkte tijd zal bestaan. Immers, de intensiteiten zullen in de loop van de tijd veranderen en omdat autosnelwegen een lange levensduur hebben, zal de verkeersafwikkeling ook in de toekomst acceptabel moeten zijn. Daarom wordt tegenwoordig altijd een verkeersmodel gebruikt om voor een zeker planjaar in de toekomst een prognose van de verkeersintensiteiten beschikbaar te hebben. Voor projecten van Rijkswaterstaat dient een NRM (Nederlands Regionaal Model) gebruikt te worden.

Bij gebruik van een verkeersmodel, zoals een NRM, zijn intensiteiten voor de beide spitsuren in het planjaar beschikbaar, echter geldend voor twee uren. Er zal een omrekening moeten plaatsvinden naar één uur. Daarvoor wordt meestal een factor 0,55 toegepast. Uiteraard zijn bij gebruik van verkeerstellingen bijna altijd uurintensiteiten beschikbaar.

Indien een verkeersmodel of verkeerstelling slechts etmaalintensiteiten levert, dan kan als vuistregel voor de spitsuurintensiteiten gehanteerd worden dat dit 10 % van de etmaalintensiteit is. Als voor de ochtend- en avondspits intensiteiten beschikbaar zijn, dan is de hoogste intensiteit in principe te gebruiken als maatgevende intensiteit voor het bepalen van de kwaliteit van de verkeersafwikkeling. Dit geldt echter slechts voor wegvakken. Weefvakken kunnen zeer bepalend zijn voor de kwaliteit van een (deel-)netwerk. In de ochtend- en avondspits zijn de wevende verkeersstromen bijna altijd verschillend en omdat vooral deze stromen de kwaliteit van de verkeersafwikkeling van een weefvak bepalen, dient zowel de ochtendspits als de avondspits beschouwd te worden.

Soms zijn niet de spitsuren op werkdagen maatgevend, maar zijn bepaalde uren op een zaterdag of zondag maatgevend door evenementen of bijzondere attracties zoals woonboulevards. Deze specifieke situaties zijn dan apart te onderzoeken.

2.6 Bepalen van capaciteitswaarden (C)

Er zijn drie mogelijkheden om een capaciteitswaarde te bepalen:

- op basis van een kader (richtlijn);
- op basis van simulaties;
- op basis van meetgegevens.

Capaciteitswaarden van dit handboek zijn een kader/richtlijn

De capaciteit kan goed worden bepaald op basis van de capaciteitswaarden van hoofdstuk 3 en de reductiefactoren uit hoofdstuk 4 van dit handboek. De

capaciteitswaarden in dit handboek vormen het kader voor Rijkswaterstaat en dienen daarom gebruikt te worden in studies en analyses van Rijkswaterstaat. Indien lokale omstandigheden sterk afwijken van de uitgangspunten van de capaciteitswaarden van dit handboek, is een afwijking op dit handboek mogelijk. Dit kan slechts indien simulaties met FOSIM niet mogelijk zijn. Uiteraard dient een gedegen motivatie plaats te vinden en zal contact opgenomen moeten worden met Rijkswaterstaat WVL, afdeling BIBW (Wegverkeer en Benutten).

Capaciteitswaarden op basis van simulaties

Mochten de in dit Handboek opgenomen standaardwaarden en reductiefactoren geen uitkomst bieden voor een capaciteitswaarde van een bepaald wegvak of discontinuïteit (of combinatie van opeenvolgende discontinuïteiten), dan dienen simulaties met FOSIM uitgevoerd te worden. FOSIM is het enige dynamische verkeersmodel dat speciaal gekalibreerd en gevalideerd is voor het betrouwbaar berekenen van capaciteitswaarden van Nederlandse autosnelwegen. FOSIM is tevens ook aangepast en gekalibreerd voor simulatie van de capaciteit bij wegwerkzaamheden en smalle rijstroken (Sweco 2019).

Andere dynamische modellen zijn zeker bruikbaar voor zeer veel doelen, maar mogen niet gebruikt worden om een finale uitspraak te doen over de capaciteit van discontinuïteiten. Daarvoor is dit Handboek het kader en daarvan afgeleid FOSIM.

Bepalen van capaciteitswaarden op basis van meetgegevens

De capaciteit kan in bestaande situaties gemeten worden. Hiervoor zijn verschillende methodes beschikbaar. Voor situaties waar voldoende congestie optreedt en de meetperiode voldoende lang is, kan de capaciteit met een relatief kleine spreiding bepaald worden. Er zijn ook methodes beschikbaar om de capaciteit te berekenen voor situaties zonder (voldoende) congestie, maar de resultaten van deze methode hebben een grotere spreiding en kunnen sterk afhankelijk zijn van de gekozen parameters.

Voor de vrije capaciteit dient de product-limietmethode gebruikt te worden. Voor de afrijcapaciteit dient de empirische-distributiemethode te worden gebruikt, zie paragraaf 2.8.

Voor het te meten wegvak zullen in ieder geval de volgende aspecten moeten worden vastgelegd:

- afwijkingen ten opzichte van het standaard dwarsprofiel;
- maximumsnelheid;
- percentage vrachtverkeer;
- weersomstandigheden.

Het uitvoeren van capaciteitsmetingen zal slechts plaatsvinden indien de omstandigheden sterk afwijken ten opzichte van dit handboek, simulaties eveneens niet mogelijk zijn en de noodzaak bestaat een grote zekerheid over de capaciteit te hebben. Paragraaf 2.8 gaat verder in op de statistische methoden om uit metingen of simulaties de capaciteitswaarde te bepalen.

2.7 Gebruik van de I/C-verhouding

De verhouding tussen de intensiteit (I) en de capaciteit (C) is de indicator voor de kwaliteit van de verkeersafwikkeling van een weggedeelte. De I/C-verhouding is een zeer belangrijke indicator, omdat deze relatief eenvoudig te berekenen is, een goede indicatie geeft en reeds lange tijd naar tevredenheid veel gebruikt wordt. Een I/C-verhouding van kleiner of gelijk aan 0,8 geeft een goede verkeersafwikkeling,

waarbij de kans op filevorming als gevolg van de verkeersintensiteit erg klein is (kleiner dan 1 %). Voor het ontwerpen van autosnelwegen is het uitgangspunt dat de I/C-verhouding altijd kleiner dan of gelijk aan 0,8 moet zijn (ROA 2019). Filevorming kan bij een I/C-verhouding onder de 0,8 nog wel optreden door ongevallen of bij neerslag (de capaciteit wordt dan lager, zie hoofdstuk 5). De volgende Tabel 2.1 geeft de te hanteren klassen voor de I/C-verhouding weer.

Tabel 2.1
Relatie tussen I/C-verhouding en de verkeersafwikkeling

I/C-verhouding	Beschrijving	Kans op file binnen 30 minuten	HCM service-niveau	Dichtheid (pae/km/rijstrook)
I/C kleiner dan 0,3	Zeer goede verkeersafwikkeling. Bestuurders kunnen hun wenssnelheid zondermeer aanhouden.	0%	A	0 – 7
I/C 0,3 – 0,8	Goede verkeersafwikkeling zonder filevorming (afgezien van incidenten); bij I/C naderend de 0,8, neemt gemiddelde snelheid af en ontstaat gedwongen volgen.	< 1 %	B t/m D	B: >7 –11 C: >11-16 D: >16-22
I/C 0,8 – 0,9	Matig tot slechte verkeersafwikkeling met structurele filevorming, maar niet dagelijks; kleine verstoringen (incidenten, regen, etc.) leiden tot zwaardere filevorming.	< 20 %	E en F (file)	E: >22-28 F: >28
I/C 0,9 – 1,0	Slechte verkeersafwikkeling met structurele, dagelijkse filevorming; verstoringen, zoals incidenten, neerslag etc. hebben een grote invloed met zeer zware filevorming en stilstaand verkeer tot gevolg.	20 – 100 %	E en F (file)	E: >22-28 F: >28
I/C groter dan 1,0	Zeer slechte verkeersafwikkeling met structurele, dagelijkse filevorming met stilstaand verkeer.	100 %	F (file)	>28

I/C-verhouding en de kans op file

De kans op file in een periode van 5 minuten is bij een I/C-verhouding van 1,0 in principe 50 % (de capaciteit C is de mediaan van alle capaciteitsmetingen met een aggregatieperiode van 5 minuten en ligt daarmee dicht in de buurt van het gemiddelde). Om de impact van een bepaalde I/C-verhouding te bepalen, is de kans op file in een periode van 5 minuten vaak niet direct bruikbaar. Nuttiger is om naar een langere periode te kijken, omdat de kans op file toeneemt als de I/C-verhouding langere tijd in de buurt van de 1,0 zit.

In Tabel 2.1 is de relatie weergegeven tussen de I/C-verhouding en de kwaliteit van de verkeersafwikkeling³. Daarbij is ook de kans weergegeven dat er bij die I/C-verhouding in een periode van een half uur file optreedt. De capaciteit C betreft hier de vrije capaciteit. Bij een I/C-verhouding onder de 0,8 is de kans op file onder normale omstandigheden zeer klein (< 1%). Bij I/C-verhouding tegen de 0,8 aan zal de gemiddelde snelheid geleidelijk afnemen en zal gedwongen volgen van voertuigen optreden. Afhankelijk van omstandigheden zoals maximumsnelheid,

³ De in Tabel 2.1 opgenomen kans op file binnen 30 minuten is berekend met behulp van een groot aantal FOSIM-simulaties. Daarbij is gekeken bij welk percentage van de simulaties er bij een bepaalde I/C-verhouding binnen 30 minuten file ontstond. De simulaties zijn uitgevoerd voor situaties met weefvakken. Voor andere typen discontinuïteiten kunnen de filekansen afwijken, door verschillen in verstoringen in de verkeersstroom.

aantal rijstroken, etc. kan dit al optreden vanaf een I/C-verhouding rond de 0,55 – 0,7 (gebaseerd op TRB 2000).

De gebruikte intensiteit

De berekende I/C-verhouding is sterk afhankelijk van de gebruikte "I". Vaak wordt hiervoor bijvoorbeeld een piek intensiteit bepaald of berekend vanuit een verkeersmodel (zie ook paragraaf 3.5). De gebruikte intensiteit wordt de maatgevende intensiteit genoemd (zie ook paragraaf 3.5). In veel gevallen is deze maatgevende intensiteit (gebaseerd op) een werkdagjaargemiddelde. Dit houdt ook in dat er perioden in het jaar zijn dat de intensiteit hoger ligt dan dit werkdagjaargemiddelde. Daarnaast is de gebruikte intensiteitswaarde vaak een uurgemiddelde, terwijl de capaciteitswaarden uit dit Handboek gebaseerd zijn op 5-minuutswaarden. Binnen de uurwaarde van de maatgevende intensiteit zal er in de praktijk nog fluctuatie optreden, waardoor de werkelijke intensiteitspiek hoger ligt dan de gehanteerde "I".

Door gebruik te maken van een maximale I/C-verhouding van 0,8 wordt ook deels rekening gehouden met deze variaties ten opzichte van het werkdagjaargemiddelde en de piekintensiteit versus de uurwaarde. Bij het gebruik van hogere I/C-verhoudingen zal de kans op en frequentie van congestie in de regel onacceptabel hoog worden.

Serviceniveau

De Highway Capacity Manual (TRB 2000) spreekt van zes mogelijke serviceniveaus (*Level of Service*) voor de kwaliteit van de verkeersafwikkeling. Deze zijn weergegeven met de letters A tot en met F, waarbij A is gedefinieerd als vrije doorstroming waarbij voertuigen ongehinderd hun eigen snelheid kunnen aanhouden en F is het niveau waarbij er file is. Bij niveaus C en D is er in toenemende mate sprake van dat weggebruikers niet meer allemaal hun gewenste snelheid aan kunnen houden, maar daarin gehinderd worden door langzamer rijdend verkeer. Kleine verstoringen kunnen bij dit niveau nog opgevangen worden zonder file. Bij niveau E is de verkeersafwikkeling onstabiel. Een kleine verstoring kan al direct voor file zorgen.

Dichtheid

Zoals te zien is in paragraaf 2.1, is er een relatie tussen snelheid, intensiteit en dichtheid. Waar de intensiteit in file afneemt door de capaciteitsval, neemt de dichtheid nog toe. Dichtheid geeft daarmee ook een maat voor de verkeersafwikkeling en de kans op file. In de praktijk is dichtheid echter moeilijk meetbaar (bijvoorbeeld met video vanuit de lucht), waardoor dichtheid vaak wordt afgeleid uit de combinatie van snelheid en intensiteit.

in Tabel 2.1 is per I/C-klasse ook een schatting opgenomen van de dichtheid in aantal voertuigen (in personenautoequivalenten (pae), zie paragraaf 4.3.1) per kilometer per rijstrook. Deze waarden zijn echter gebaseerd op onderzoek in de Verenigde Staten, en kunnen daarom afwijken van de Nederlandse situatie.

I/C-verhouding in verkeersmodellen

Met macroscopische verkeersmodellen worden zeer veel zogenaamde I/C-plots gemaakt. Hierbij wordt de I/C-verhouding berekend met de capaciteit van wegvakken zoals deze in het verkeersmodel aanwezig zijn. Hiermee dient terughoudend omgegaan te worden, omdat de capaciteit in macroscopische verkeersmodellen een invoervariabele is en hiervoor meestal standaardwaarden worden gebruikt, die soms nog aangepast worden om de uitkomst van het model als geheel te kalibreren (bijvoorbeeld reistijden, filelengten en trajectsnelheden).

Daarom moet altijd een I/C-analyse worden uitgevoerd, waarbij de capaciteitswaarden door een deskundige bepaald worden. De intensiteit kan uiteraard van een (macroscopisch) verkeersmodel worden betrokken, omdat dat het sterke punt is van dergelijke modellen en die type verkeersmodellen speciaal daarvoor ontwikkeld zijn.

Omdat de capaciteit afhankelijk is van het percentage vrachtverkeer, dient bij de analyse van de verkeersafwikkeling het vrachtverkeer expliciet te worden meegenomen.

2.8 Gebruikte methoden om capaciteitswaarden te bepalen

Er zijn door de jaren heen zeer veel verschillende methodes ontworpen om de capaciteit op snelwegen te bepalen op basis van empirische data (meetgegevens). Minderhoud, Botma en Bovy (1996) hebben in een studie verschillende methodes tegen elkaar afgewogen en concludeerden dat de product-limietmethode (PLM) de best beschikbare methode is, vervolgens de empirische-distributiemethode en daarna de fundamenteel-diagrammethode. Recenter onderzoek van Arane (2007) concludeerde dat voor de afrijcapaciteit de empirische-distributiemethode het best toepasbaar is. De product-limietmethode is het beste toepasbaar voor de vrije capaciteit, gevolgd door de FOSIM-methode.

Voor het bepalen van de afrijcapaciteit dient de empirische-distributiemethode te worden gebruikt (zie paragraaf 2.8.1). Voor het bepalen van de vrije capaciteit dient de product-limietmethode gebruikt te worden (zie paragraaf 2.8.2). In paragraaf 2.8.3 wordt ingegaan op de FOSIM-methode, die gebruikt is voor versie 2 van dit handboek en licht afwijkt van de product-limietmethode. In paragraaf 2.8.4 wordt daarnaast nog de fundamenteel-diagrammethode beschreven en in paragraaf 2.8.5 de Van Aerde-methode.

De waarde van de berekende capaciteit is afhankelijk van de gebruikte methode. Daarom dient altijd vastgelegd te worden welke methode gebruikt wordt. Voor dit Handboek is dat standaard de product-limietmethode, tenzij anders is vermeld.

2.8.1 Afrijcapaciteit met de empirische-distributiemethode

De afrijcapaciteit wordt bepaald op basis van de empirische-distributiemethode. Dit is een eenvoudige maar betrouwbare methode om de afrijcapaciteit en de verdeling ervan te bepalen. Op grond van metingen stroomopwaarts van het knelpunt wordt bepaald in welke gevallen sprake is van congestie. De intensiteit die op dat moment stroomafwaarts van het knelpunt wordt gemeten, wordt beschouwd als een waarneming van de afrijcapaciteit. Op grond van deze waarnemingen wordt de empirische verdelingsfunctie bepaald, waarmee de mediaan en standaard deviatie van de capaciteit kunnen worden afgeleid.

De hoeveelheid benodigde data is relatief klein: met enkele dagen aan gegevens kan al een betrouwbare schatting worden bepaald. Dit komt omdat gedurende de hele congestieperiode metingen kunnen worden uitgevoerd. De methode kent 4 vrijheidsgraden:

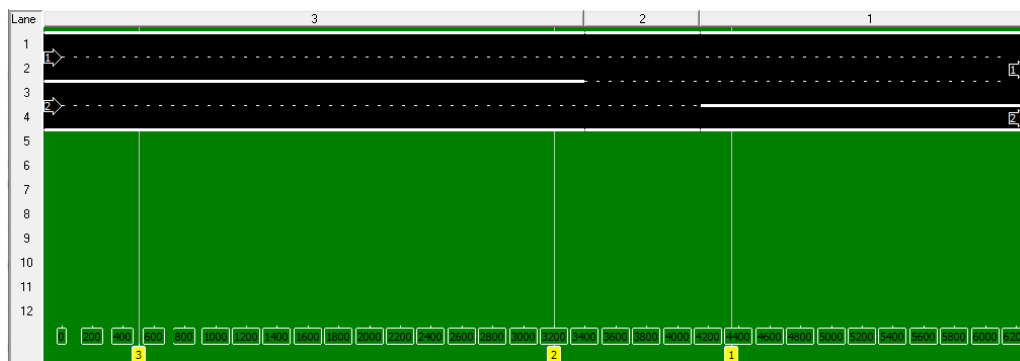
1. Keuze waarnemingspunten

Er zijn twee waarnemingspunten benodigd, namelijk een punt stroomopwaarts van het knelpunt en een punt stroomafwaarts van het knelpunt. Het eerste punt wordt gebruikt om te bepalen of sprake is van congestie. Het is hierbij wel van belang een punt te kiezen dat niet te ver van het knelpunt af ligt. Het tweede punt is een waarnemingspunt juist stroomafwaarts van het knelpunt. De intensiteiten op dit

punt worden gebruikt voor de capaciteitsbepaling. Bovendien worden de snelheden ter plekke eveneens gebruikt om te bepalen of er geen congestie terugslaat van een stroomafwaarts gelegen knelpunt. Om dat te bepalen, kan eventueel ook een derde waarnemepunt gebruikt worden. In de simulaties met FOSIM, die gebruikt zijn voor dit handboek, is detector 2 (juist stroomopwaarts van het weefvak) gebruikt om te bepalen of sprake is van congestie, terwijl de intensiteiten waargenomen op detector 1 zijn gebruikt voor de capaciteitsbepaling.

Afbeelding 2.5

Waarnemingspunten
voor capaciteitsbepaling



2. Keuze criterium vrije afwikkeling/congestie

Het is van belang onderscheid te maken tussen congestie en vrije waarnemingen. Doorgaans wordt hiertoe de snelheid stroomopwaarts van het knelpunt als criterium gekozen. Voor de capaciteitswaarden in dit handboek is meestal uitgegaan van een grenswaarde van 50 km/h.

3. Parametrische of verdelingsvrije methode

Ofschoon de methode doorgaans verdelingsvrij wordt toegepast, kan de verdelingsfunctie van de afrijcapaciteit eveneens geparametriseerd worden⁴. Hiervoor is met name de Weibullverdeling of de normale verdeling geschikt. De voordelen ervan zijn echter niet evident, behalve wanneer relatief weinig data beschikbaar is. Voor de berekening van de afrijcapaciteit in dit handboek is uitgegaan van de verdelingsvrije empirische-distributiemethode.

4. Aggregatieniveau van de gebruikte data

De aggregatieperiode zal geen structurele invloed hebben (bias) op de schattingsresultaten van de gemiddelde capaciteit. Dit geldt echter niet voor de *spreiding*, welke zal toenemen met afnemende aggregatieperiode (Arane 2007). In dit handboek is een aggregatieniveau (interval) van 5 minuten toegepast.

2.8.2 Vrije capaciteit op basis van de product-limietmethode

Het bepalen van de vrije capaciteit dient in principe met de product-limietmethode te worden uitgevoerd. Er zijn voor de product-limietmethode (PLM) verschillende versies in omloop. De verschillen tussen de versies bestaan uit het al dan niet geparametriseerd zijn van de geschatte verdelingsfunctie voor de capaciteit en de basisgegevens die worden gebruikt voor capaciteitswaarnemingen.

De basismethode voor de product-limietmethode is ontwikkeld door Van Toorenburg en Botma en is gebaseerd op het idee dat niet alleen waarnemingen van de

⁴ Bij verdelingsvrije statistiek worden er geen aannames gedaan over de onderliggende verdeling. Bij een parametrische methode wordt er daarentegen vanuit gegaan dat de verdeling op enkele parameters na bekend is.

capaciteit van het knelpunt verkregen bij congestie informatie bevatten over de capaciteit, maar ook waarnemingen die ervoor worden gedaan informatie bevatten.

De versie van Brilon (Brilon, Geistefeldt en Regler 2005) van de product-limietmethode maakt gebruik van zogenaamde levensduuranalyse. Voor deze methode worden alleen situaties met congestie beschouwd. Een waarneming van de capaciteit wordt verkregen indien congestie ontstaat: de waarneming van de capaciteit is de intensiteit in het interval voorafgaande aan het interval dat congestie optreedt, waarbij de snelheid op de stroomopwaarts gelegen detector is gedaald onder de grenswaarde. Voor de overige waarnemingen geldt dat de capaciteit in die periode met congestie blijkbaar groter was dan de vraag.

Uit onderzoek van Arane (2007) bleek dat de product-limietmethode plausibeler resultaten opleverde wanneer niet enkel naar het interval direct voorafgaand aan de congestie wordt gekeken, maar ook naar een ruimere periode daarvoor. Deze werkwijze is ook gehanteerd bij de in 2009 uitgevoerde metingen voor het Handboek CIA (Grontmij 2009).

De product-limietmethode wordt voor een groot aantal perioden met congestie (meestal spitsperioden) uitgevoerd, waarna de mediaan de capaciteitswaarde geeft van de betreffende locatie. De periode waarover data benodigd is, is met product-limietmethode daardoor veel groter dan bij het berekenen van de afrijcapaciteit met de empirische-distributiemethode. Er wordt namelijk doorgaans slechts maximaal één capaciteitswaarneming per spitsperiode gedaan.

De methode kent dezelfde vrijheidsgraden als bij de empirische-distributiemethode: de waarnemingspunten, de grenswaarde voor vrij verkeersafwikkeling en congestie, een parametrische of verdelingsvrije methode en het aggregatieniveau (interval) van de gebruikte data (1, 5, 15 minuten). Hiervoor zijn dezelfde uitgangspunten als bij de empirische-distributiemethode gebruikt.

2.8.3

De FOSIM-methode

De FOSIM-methode is een tweede methode die gebruikt kan worden bij het bepalen van de vrije capaciteit. De capaciteit wordt bepaald door in een periode met congestie de hoogste intensiteit die is opgetreden tot en met het moment waarop congestie ontstaat als capaciteitswaarde te nemen (waar de product-limietmethode enkel kijkt naar de periode direct voorafgaand aan het optreden van de congestie en eventuele hogere waarden in de periode daarvoor). Bij toepassing van een klein aggregatieniveau (bijvoorbeeld 1 minuut) kan er een bias ontstaan doordat er altijd naar het maximum wordt gekeken (Arane 2007). Bij de voor eerdere versies van dit handboek uitgevoerde berekeningen is altijd een aggregatieniveau (interval) van 5 minuten toegepast.

In het dynamische verkeersmodel FOSIM wordt deze methode toegepast om de capaciteit te berekenen van een wegconfiguratie. Hierbij worden een groot aantal simulaties (meestal 100 stuks) uitgevoerd, waarbij telkens congestie ontstaat. Dezelfde methode kan ook toegepast worden op in de praktijk gemeten waarden.

Ook bij het bepalen van de capaciteit met de FOSIM-methode is zowel een waarnemingspunt (detector) stroomafwaarts van het knelpunt, als één of meer waarnemingspunten stroomopwaarts van de congestie nodig. Deze dienen om te bepalen wanneer door het knelpunt congestie is ontstaan. De capaciteit wordt gemeten op de doorsnede stroomafwaarts van het knelpunt. De grenswaarde voor vrije verkeersafwikkeling en congestie is gesteld op 50 km/h (stroomopwaarts van

het knelpunt). Door het voorgaande voor een groot aantal perioden met congestie uit te voeren, kan een mediaan van de capaciteit berekend worden.

Bij zowel de FOSIM-methode als bij de product-limietmethode geldt dat het mogelijk is dat bij het bereiken van de capaciteit, niet op de gehele rijbaan direct filevorming optreedt. Dit kan bijvoorbeeld bij asymmetrische weefvakken voorkomen, waarbij richting een tak eerder congestie optreedt dan richting de andere tak. De intensiteit kan hierdoor ook na het ontstaan van congestie nog verder toenemen. Als waarde voor de capaciteit is echter van belang die intensiteit als capaciteit te meten waarbij de congestie begint. Het is in dergelijke gevallen daarom belangrijk snel waar te nemen dat congestie ontstaat (Fosim 5.1 Gebruikershandleiding 2006). Bij het uitvoeren van simulaties met FOSIM kan hiermee rekening gehouden worden met de plaatsing van meetpunten en de snelheid waarmee de intensiteit oploopt in de simulatie. Bij het gebruik van deze methode bij gemeten waarden is de ligging van de meetpunten hierbij van invloed.

Verskil tussen product-limietmethode en FOSIM-methode

Uit het onderzoek van Grontmij (2009) komt naar voren dat het verschil tussen de berekende capaciteitswaarden met de FOSIM-methode en de product-limietmethode in de meeste gevallen tussen de -10 % en +10 % ligt. Gemiddeld zijn de capaciteitswaarden met de FOSIM-methode 2 % lager dan de waarden die berekend zijn met de product-limietmethode.

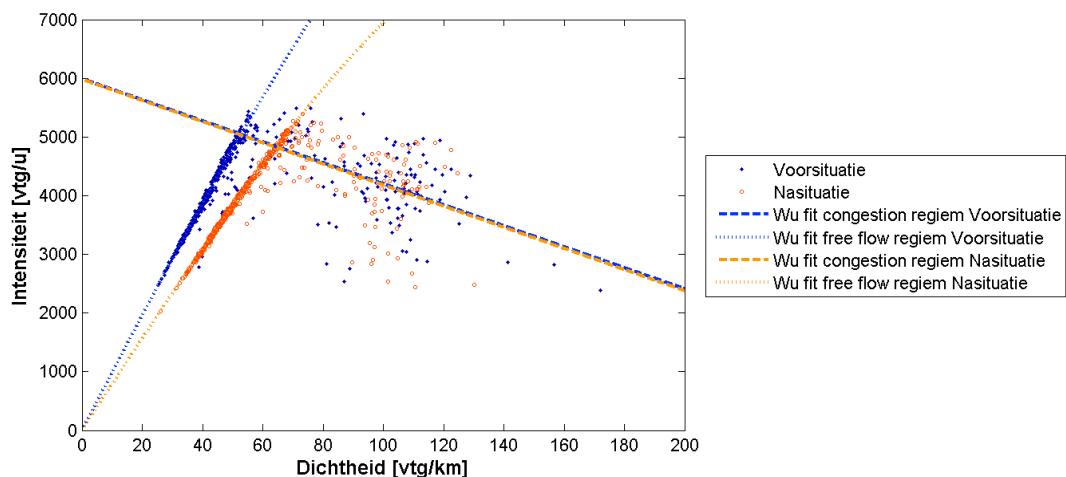
2.8.4

De fundamenteel-diagrammethode

Bij de fundamenteel-diagrammethode wordt de relatie tussen de intensiteit, de snelheid en de dichtheid gebruikt. Voor de bepaling van de capaciteit wordt het fundamenteel diagram gefit aan de gemeten intensiteiten en snelheden (of dichtheden). Zie Afbeelding 2.6 voor een voorbeeld.

Afbeelding 2.6

Voorbeeld van een fit van het fundamenteel diagram op gemeten data (als voorbeeld is de methode van Wu gebruikt voor twee verschillende situaties)



Het bepalen van de capaciteit met behulp van het fundamenteel diagram is erg gevoelig voor de keuze van de functie die gefit wordt. Bovendien is de selectie van meetwaarden die worden gebruikt van invloed op de gevonden capaciteitswaarde. Zo kunnen waarden tussen de vrije afwikkeling en congestie in de schatting beïnvloeden doordat ze tussen beide toestanden in zitten. De fundamenteel-diagrammethode kan daarom alleen gebruikt worden als benadering (of indicatie)

van de capaciteitswaarde. Deze methode is daarom vooralsnog niet toegepast in dit handboek.

De methode Wu met het fundamenteel diagram (in Afbeelding 2.6 opgenomen als voorbeeld) is gevoelig voor de keuze van de parameters, met name de stremmingsdichtheid. Daarnaast is erg veel data nodig om enige betrouwbare resultaten te verkrijgen. Hoewel theoretisch een zeer goede methode (beter dan andere methoden), is de praktische bruikbaarheid niet goed.

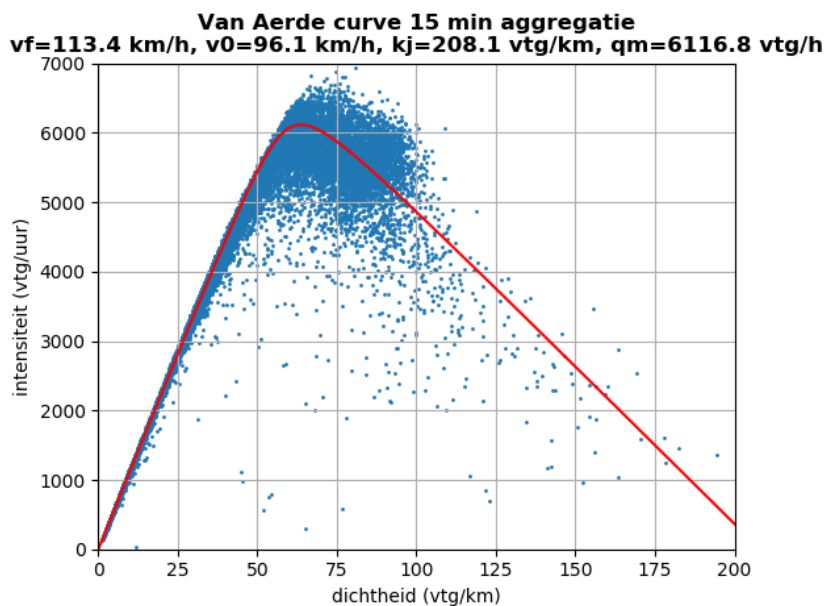
2.8.5

De Van Aerde-methode

De Van Aerde-methode (zie o.a. Wu and Rakha 2009) zoekt voor iedere locatie naar een set parameters voor een wiskundige formule die de gemeten snelheid-intensiteitsparen het beste beschrijft (fundamenteel diagram). Uit deze formule is vervolgens de vrije capaciteit af te lezen (de maximale waarde voor de intensiteit). Er wordt hierbij één meetpunt gebruikt dat op of stroomopwaarts van de bottleneck ligt. In tegenstelling tot bovengenoemde twee methoden levert deze methode als uitkomst één capaciteitswaarde op, waar de FOSIM-methode en de aangepaste PLM methode een serie capaciteitsmetingen opleveren waaruit de mediaan als uiteindelijke waarde voor de vrije capaciteit gehanteerd kan worden.

Afbeelding 2.7

Voorbeeld van een fit van het fundamenteel diagram op gemeten data met de Van Aerde-methode



2.9 Capaciteit en verkeersmodellen

Behalve voor wegontwerp, wordt capaciteit ook in verkeersmodellen gebruikt. Men dient hierbij rekening te houden met het feit dat verkeersmodellen de werkelijkheid alleen kunnen benaderen. Het is eveneens van belang de aannames en uitgangspunten te weten, die zijn gehanteerd bij de bouw en gebruik van het model.

Voor de toekomst dient niet uitgegaan te worden van een toename van de capaciteitswaarden. Dit is in tegenstelling met wat in het verleden werd verondersteld. Uit de capaciteitsmetingen van de afgelopen 10-15 jaar is geen toename te verantwoorden. Effecten die in het verleden nog wel zijn opgetreden, zoals verbeterde karakteristieken van voertuigen en verkeersmanagement-maatregelen, zijn inmiddels grotendeels geïmplementeerd. Voor de toekomst

kunnen geen grote effecten verwacht worden, die een generieke toename van de capaciteitswaarden zouden kunnen motiveren (zie ook paragraaf 4.5 voor de verwachte effecten van toekomstige technologische ontwikkelingen).

Microscopische verkeersmodellen

Er zijn verkeersmodellen om de capaciteit van een wegontwerp te kunnen bepalen. Deze modellen zijn vooral sterk in een netwerkanalyse, zowel voor het hoofdwegennet als voor het onderliggende wegennet, waarbij doorgaans een spitsperiode wordt beschouwd. Ook verkeerslichten worden goed gesimuleerd. Voorbeelden zijn Aimsun, Vissim en Paramics. Dergelijke modellen worden voor stedelijke gebieden en regio's ingezet.

FOSIM is speciaal voor Nederlandse autosnelwegen ontwikkeld en is daarvoor gekalibreerd en gevalideerd. Daarom dient FOSIM gebruikt te worden voor de berekening van capaciteitswaarden van autosnelwegen.

Macroscopische verkeersmodellen

Macroscopische verkeersmodellen worden vooral ingezet voor lange termijn ontwikkelingen. Hiermee worden effecten van uitbreiding van bestaande wegen en mogelijke aanleg van nieuwe verbindingen doorgerekend. Een macroscopisch verkeersmodel is onder andere gebaseerd op wegvakkenmerken en niet op individueel voertuiggedrag en heeft capaciteitswaarden voor wegvakken (en discontinuïteiten zoals weefvakken) als invoer.

Macroscopische verkeersmodellen berekenen/voorspellen de verkeerssituatie in een verkeersnetwerk. De intensiteiten voor het planjaar (prognose) zijn te gebruiken voor de maatgevende intensiteit om de verkeersafwikkeling te bepalen. Dergelijke modellen kunnen ook andere uitvoervariabelen, zoals de reistijd genereren. Bij studies van Rijkswaterstaat wordt een NRM (Nieuw Regionaal Model) gebruikt. Er is voor ieder landsdeel een NRM beschikbaar. Voor het doorrekenen van het landelijk beleid is het LMS (Landelijk Model Systeem) voor geheel Nederland in gebruik.

Mesoscopische verkeersmodellen

Naast de microscopische en macroscopische toedelingsmodellen zijn er nog tussenvormen. Zo hebben onder meer PTV-Vissim en Aimsun een mesoscopische toedeling, waarbij individuele voertuigen worden gesimuleerd, maar geen rekening wordt gehouden met het strookwisselgedrag en het voertuig-volgggedrag. Daarmee is het bijvoorbeeld niet mogelijk om schokgolven te simuleren, en zal bijvoorbeeld ook de capaciteit van een weefvak geen resultante zijn van het model.

Wachtrijmodellen

Op basis van de capaciteit en (het verloop van) de intensiteit kan voor een wegvak een eenvoudige schatting worden gemaakt van het verloop van de filevorming en vertraging. Dit kan met zogenaamde wachtrijmodellen. Voor sommige analyses kan volstaan worden met deze modellen.

2.10 Capaciteit en betrouwbaarheid van een netwerk

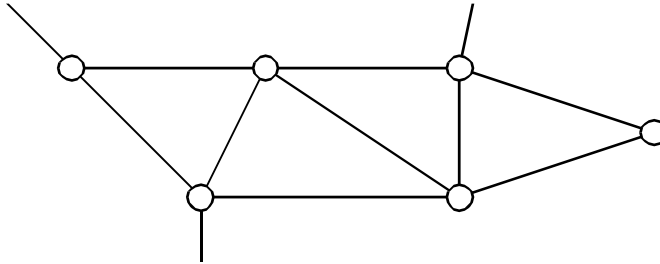
De capaciteitsdefinitie heeft betrekking op een doorsnede of uniform segment. Deze wegdelen zijn in werkelijkheid aan elkaar geschakeld en vormen zo een netwerk.

Een netwerk kan geschematiseerd worden door middel van schakels en knopen (zie Afbeelding 2.8). In knopen kunnen bestuurders van weg veranderen, terwijl de schakels deze knopen met elkaar verbinden. Er zijn knopen, die de bestuurders de gelegenheid geven om van de ene autosnelweg naar de andere autosnelweg te gaan

(knooppunten) en er zijn knooppunten, die de verbinding vormen tussen het onderliggend wegennet en de autosnelweg (aansluitingen).

Afbeelding 2.8

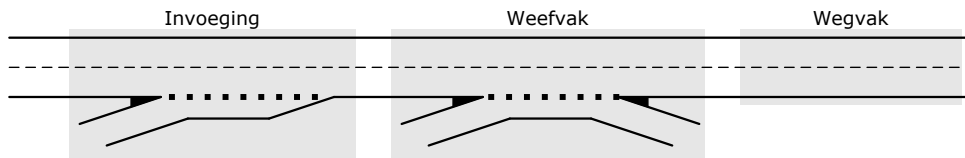
Schematisering van een netwerk



Binnen zowel schakels als knopen worden segmenten onderscheiden. Deze segmenten hebben hun eigen specifieke verkeersafwikkeling en capaciteit (zie hoofdstuk 3).

Afbeelding 2.9

Een traject bestaande uit diverse segmenten



Er zijn verschillende typen segmenten. De capaciteitswaarden van deze segmenten zijn beschreven in de afzonderlijke paragrafen in hoofdstuk 3:

- wegvak;
- invoeging;
- rijstrookbeëindiging;
- weefvak;
- uitvoeging;
- samenvoeging;
- tapersamenvoeging;
- splitsing;
- verbindingswegen in knooppunten;
- hoofd- en parallelstructuur;
- extra strook.

Capaciteit van een netwerk

Indien een voorstelling gemaakt wordt van de capaciteit van een netwerk, dan stuit men op een moeilijkheid. Er is immers sprake van meerdere herkomsten en bestemmingen en van meerdere routes per herkomst-bestemmingrelatie. Eén bepaalde doorsnede, waar alle (mogelijke) relaties passeren, is dan ook niet aanwezig. Dat maakt onze capaciteitsdefinitie uit paragraaf 0 niet geschikt voor toepassing bij netwerken. De capaciteitsdefinitie is wel toepasbaar op de verschillende onderdelen waar het netwerk uit is opgebouwd, zoals wegvakken, invoegstroken, weefvakken, etc.

Netwerkbenadering

Een ketting is zo sterk als zijn zwakste schakel. Voor een wegennetwerk geldt iets vergelijkbaars. Ook daar zijn de mogelijkheden van de zwakste schakel(s) bepalend voor de kracht (lees: capaciteit) van het geheel. Een groot verschil is wel dat een netwerk meerdere alternatieve routes heeft en dat het 'falen' van één schakel (en

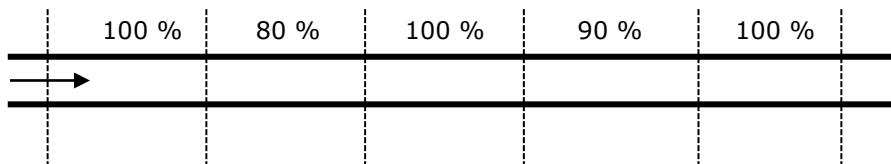
daarmee een route) gedeeltelijk opgevangen kan worden door de rest van het netwerk.

Uitbreiding van de capaciteit op een punt in het netwerk heeft alleen effect als de capaciteit van de overige segmenten dit toelaat. Met andere woorden, als de wegvakken ervoor (stroomopwaarts) én erna (stroomafwaarts) de extra hoeveelheid verkeer kunnen verwerken.

In Afbeelding 2.10 wordt een voorbeeld gegeven. In deze afbeelding bevinden zich twee wegvakken met een discontinuïteit, waar minder verkeer kan passeren (respectievelijk 80 % en 90 %), dan op de overige wegvakken (100 %). Gezien de richting van de verkeersstroom, zullen de eerste problemen ontstaan bij het wegvak waar slechts 80 % verkeer kan passeren. Dit wegvak zou wellicht aangepast kunnen worden, zodat ook hier 100 % verkeer kan passeren. Maar over de totale weg zal dan toch maar 90 % kunnen passeren, omdat stroomafwaarts bij het volgende knelpunt congestie ontstaat.

Afbeelding 2.10

Een traject bestaande uit wegvakken met verschillende capaciteiten



Het uitbreiden van de capaciteit van een traject vraagt om opsporing en versterking van de zwakste schakels. Dat opsporen is niet altijd eenvoudig: knelpunten stroomopwaarts doseren het verkeer op volgende wegvakken. Daardoor wekken deze soms ten onrechte de indruk nog veel reservecapaciteit te hebben. Dit is bijvoorbeeld het geval voor het wegvak in Afbeelding 2.10 met 90% capaciteit, waar in de huidige situatie geen file zal optreden. Het aanbod wordt immers al gedoseerd door het stroomopwaarts gelegen wegvak met 80 %.

Nog gecompliceerder is het vergroten van de capaciteit van een netwerk. Een netwerk biedt het verkeer de mogelijkheid om te zoeken naar de route(s) met de minste weerstand. Verandert de weerstand, dan zal het verkeer zich in reactie daarop anders verdelen over de mogelijke routes.

Voor wegontwerpers is een netwerkbenadering van wezenlijk belang. Overige discontinuïteiten op een netwerk moeten altijd meegenomen worden.

Prestatie van een netwerk

Omdat de capaciteit van een netwerk lastig te definiëren is, wordt gebruik gemaakt van het begrip 'prestatie'. De prestatie geeft aan hoe 'goed' of 'slecht' een netwerk wordt benut. De volgende indicatoren worden gebruikt om de prestatie van een netwerk weer te geven:

- het aantal voertuigverliesuren (VVU);
- het aantal voertuigkilometers (de totale afgelegde afstand in het netwerk);
- het aantal voertuigverliesuren per kilometer weg;
- de gemiddelde afgelegde afstand per voertuig;
- de filezwaarte (lengte maal duur van de files);
- de gemiddelde netwerksnelheid;
- trajectsnellheden (trajectlengten hiervoor zijn circa 20 kilometer voor de zogenoemde NoMo-trajecten. Dit is een beleidsindicator).

Diverse indicatoren worden naast elkaar gepresenteerd in analyses voor de netwerkprestatie.

De prestatie is vooral een maat om verschillende omstandigheden of alternatieven met elkaar te vergelijken. Zo kan men zien welk effect bepaalde maatregelen of aanpassingen aan de infrastructuur hebben op netwerkniveau.

De genoemde indicatoren worden voor de huidige situatie met behulp van diverse meetsystemen bijgehouden. Met behulp van verkeersmodellen zijn de prestaties te bepalen voor toekomstige situaties. In deze verkeersmodellen worden capaciteitswaarden meestal als invoergegeven gebruikt

Betrouwbaarheid van een netwerk

Niet alleen de waarde van de prestatie-indicatoren zelf, maar ook de spreiding ervan speelt een rol. De spreiding zegt namelijk iets over de betrouwbaarheid van het netwerk. Een weggebruiker heeft waarschijnlijk liever elke dag een vertraging van 15 minuten dan de ene dag 10 minuten en de andere dag 20 minuten. De betrouwbaarheid van reistijd kan ook, net als (een besparing van) voertuigverliesuren, omgerekend worden naar maatschappelijke baten. Dit wordt de *Value of Reliability* genoemd, ofwel de waardering van betrouwbaarheid.

2.11 Robuustheid van een netwerk

Robuustheid van een netwerk is te definiëren als de mate waarin een wegsysteem zijn functie kan behouden bij verstoringen, opdat er voor de weggebruiker geen onverwacht groot reistijdverlies optreedt (Snelder et al., 2009). Verstoringen zoals weersinvloeden, incidenten, maar ook langdurige (weekend) afsluitingen ten behoeve van Werk in Uitvoering zorgen voor tijdelijk capaciteitsverlies dat opgevangen moet worden door (andere delen van) het netwerk. Hoe beter een netwerk hiertoe in staat is, hoe robuuster het netwerk is.

Dit betekent dat in het netwerk extra (reserve)capaciteit of redundantie zal moeten worden ingebouwd om in geval van afwijkende situaties nog voldoende verkeersafwikkeling te kunnen garanderen. Deze restcapaciteit zal op elke link/wegvak/knooppunt in meer of mindere mate aanwezig moeten zijn. Meer restcapaciteit betekent dat verstoringen (door incidenten, verhoogd aanbod verkeer, neerslag, etc.) beter opgevangen kan worden. Deze restcapaciteit hoeft niet op de betreffende link van de verstoring aanwezig te zijn, maar kan tevens op parallel lopende alternatieve routes aanwezig zijn.

Daarnaast heeft ook compartimentering invloed op de robuustheid van een netwerk. Hiermee wordt bedoeld in hoeverre congestie op een wegvak beperkt blijft tot een klein deel van het netwerk, of door terugslag (over bijvoorbeeld een knooppunt) leidt tot een verstoring op een groter deel van het netwerk. Onder andere de (rest)capaciteit van knooppunten en de (rest)capaciteit en bufferruimte van wegvakken stroomafwaarts van knooppunten (Snelder et al. 2004).

Als laatste is ook veerkracht en aanpassingsvermogen van het netwerk van invloed op de robuustheid. Onder veerkracht valt bijvoorbeeld Incident Management om bij incidenten weer zo snel mogelijk de oorspronkelijke capaciteit te herstellen. Aanpassingsvermogen is de mogelijkheid om (schakels in) het netwerk flexibel te gebruiken. Wisselbanen zijn hier een voorbeeld van.

Er zijn verschillende methodes en modellen om te bepalen waar de knelpunten in de robuustheid zitten en hoe die verbeterd kunnen worden.

3 Capaciteitswaarden onder standaard omstandigheden

Dit hoofdstuk geeft richtlijnen voor te gebruiken capaciteitswaarden. In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens capaciteitswaarden gegeven voor de volgende segmenten:

- wegvak, invoeging en rijstrookbeëindiging (paragraaf 3.1);
- weefvak (paragraaf 3.2);
- uitvoeging (paragraaf 0);
- samenvoeging (paragraaf 3.4);
- tapersamenvoeging (paragraaf 3.5);
- splitsing (paragraaf 3.6);
- knooppunten (paragraaf 3.7);
- hoofd- en parallelstructuur (paragraaf 3.8);
- extra strook (paragraaf 3.9);
- autowegen en onderliggend wegennet (paragraaf 3.10).

In paragraaf 3.1 en 3.2 zijn respectievelijk capaciteitswaarden voor wegvakken en voor weefvakken opgenomen. De paragrafen 3.2 t/m 3.9 geven een overzicht van de specifieke invloedsfactoren van dat type discontinuïteit en geven daarbij aan wat de invloed van dat type discontinuïteit is ten opzichte van de in paragraaf 3.1 genoemde capaciteitswaarde. Paragraaf 3.10 geeft tot slot verwijzingen naar bronnen voor het bepalen van de capaciteit van autowegen en wegen op het onderliggend wegennet.

Alle in dit hoofdstuk genoemde capaciteitswaarden hebben betrekking op standaard omstandigheden voor het betreffende segment. In onderstaande Tabel 3.1 zijn deze vermeld.

Tabel 3.1

Standaardomstandigheden waaronder capaciteitswaarden zijn bepaald

Standaardomstandigheden bij de capaciteitswaarden	
	• een maximumsnelheid van 100 km/h of hoger; • uitgaande van een percentage vrachtverkeer van 15 %; • werkdagverkeer (frequente gebruikers van hetzelfde traject); • vormgeving conform de vigerende richtlijnen voor autosnelwegen; • geen grote objecten (zeer) dicht langs de weg, bijvoorbeeld geluidsschermen; • geen afleiding als gevolg van objecten of gebeurtenissen naast de weg; • zonder steile hellingen (< 2,5 %) of flauwe hellingen over lange afstand; • in daglicht en bij droog weer (minder dan 2 mm/uur neerslag); • een goede staat van het (ZOAB) wegdek; • inclusief verkeerssignalering; • zonder (overige) verkeersmanagementmaatregelen.

Alle capaciteitswaarden in dit hoofdstuk betreffen waarden voor de vrije capaciteit en zijn uitgedrukt in mvt/h (motorvoertuigen per uur).

In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op verschillende factoren en omstandigheden die van invloed (kunnen) zijn op de capaciteit. Bij afwijkende omstandigheden en/of vormgeving dient een aangepaste waarde voor de capaciteit te worden bepaald met behulp van de reductiefactoren uit hoofdstuk 4. In paragraaf 4.3.1 staan omrekenfactoren naar verschillende percentages vrachtverkeer bij verschillende pae-factoren: *personenauto-equivalenten* zijn een rekeneenheid waarmee

motorvoertuigen worden herleid om onderlinge vergelijking met betrekking tot de verkeersintensiteiten en capaciteiten mogelijk te maken, onafhankelijk van het percentage vrachtverkeer.

3.1 Capaciteit van een wegvak, invoeging en rijstrookbeëindiging

Tabel 3.2 geeft de capaciteitswaarden van autosnelwegen afhankelijk van het aantal rijstroken. Het betreft hier de capaciteit van wegvakken, invoegingen of rijstrookbeëindigingen. De capaciteit van deze drie typen (dis)continuïteiten wordt (onder enkele in de toelichting genoemde voorwaarden) gelijk verondersteld. Voor een wegvak geldt dat deze in principe een grotere capaciteit heeft dan de capaciteit van aangrenzende stroomop- en -afwaarts liggende discontinuïteiten. Deze capaciteit zal echter nooit gehaald kunnen worden, omdat immers de eerste discontinuïteit het verkeer 'doseert'. Om praktische redenen worden voor wegvakken daarom dezelfde capaciteitswaarden gehanteerd als voor afvallende linkerrijstroken en invoegstroken bij een gelijk aantal rijstroken.

Tabel 3.3 geeft de standaard capaciteitswaarden voor wegvakken met 2 rijstroken en een spitsstrook rechts of spitsstrook links (plusstrook). Zie voor meer informatie over de capaciteitswaarden van spitsstroken ook paragraaf 4.4.3.

De onderstaande capaciteitswaarden gelden onder de in het begin van dit hoofdstuk genoemde standaard omstandigheden.

Tabel 3.2

Capaciteitswaarden van wegvakken, invoegstroken en afvallende rijstroken bij 15 % vrachtverkeer

wegvak	invoeging	rijstrookbeëindiging	capaciteit [mvt/h]	Opmerkingen
1 rijstrook			1.900 ³	lengte > 1.500 m
1 rijstrook		van 2 naar 1 rijstrook	2.100 ¹	lengte < 1.500 m
2 rijstroken	2 rijstroken + invoegstrook	van 3 naar 2 rijstroken	4.100	
3 rijstroken	3 rijstroken + invoegstrook	van 4 naar 3 rijstroken	6.200 ¹	
4 rijstroken	4 rijstroken + invoegstrook	van 5 naar 4 rijstroken	8.200 ¹	
5 rijstroken	5 rijstroken + invoegstrook	van 6 naar 5 rijstroken	10.000 ²	
6 rijstroken	6 rijstroken + invoegstrook	van 7 naar 6 rijstroken	11.700 ²	
7 rijstroken	7 rijstroken + invoegstrook	van 8 naar 7 rijstroken	13.300 ²	

Tabel 3.3

Capaciteitswaarden van spitsstroken bij 15 % vrachtverkeer

wegvak	breedte spitsstrook	capaciteit [mvt/h]
2 rijstroken + spitsstrook rechts	Bij krappere dwarsprofiel dan standaard	6.000
2 rijstroken + spitsstrook links (plusstrook)	3,10 meter	6.200
2 rijstroken + spitsstrook links (plusstrook)	2,5-2,75 meter	6.000

- ¹ Geraadpleegde bronnen: Grontmij (2009); Arcadis (2013); Arcadis (2015a); Arcadis (2015b); Arcadis (2016); Arcadis (2017); Arcadis (2019); Arcadis (2019b); Sweco (2019); zie ook bijlage B, voor 3 en 2 rijstroken afgeleid naar 1 rijstrook; voor verschil ten opzichte van Handboek CIA versie 3, zie bijlage C;
- ² de capaciteit voor rijbanen met 6 of meer rijstroken zijn geschat op basis van een verwachte capaciteit van rijstroken; uitgangspunt hierbij is dat bij grotere aantallen rijstroken deze gemiddeld genomen minder goed benut worden;
- ³ de capaciteit van een enkelstrooks verbindingsbaan neemt af met de lengte; langzame motorvoertuigen laten gaten vallen in de verkeersstroom die niet meer kunnen worden opgevuld; de reductie verloopt gradueel met de lengte van het wegvak en de bovengegeven waarde is ter indicatie.

Noten bij de tabel

- de invoeging vindt plaats aan de rechterzijde van de rijbaan;
- de rijstrookbeëindiging vindt plaats aan de linkerzijde van de rijbaan;
- de capaciteitswaarden bij hogere percentages vrachtverkeer zijn niet zonder meer te gebruiken voor een invoeging; er is dan zo veel vrachtverkeer op de rechter rijstro(o)k(en) aanwezig, dat het invoegen sterk wordt bemoeilijkt; in dat geval zal de capaciteitswaarde voor een invoeger lager zijn dan de vermelde waarde in de tabel; dit geldt vanaf ca. 750 vrachtauto's per uur bij rijbanen met twee rijstroken of een inhaalverbod voor vrachtwagens;
- de capaciteitswaarden gelden bij een normaal of licht belaste invoeging. Bij een zwaar belaste invoeging is er een negatieve invloed op de capaciteit.

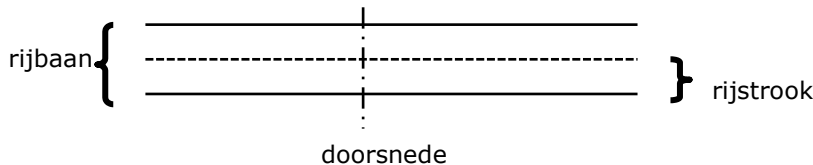
Toelichting bij wegvak

Een wegvak betreft een gedeelte van een traject zonder discontinuïteiten (invoeging, afrit, weefvak, et cetera). Het belangrijkste opzicht waarin wegvakken van elkaar kunnen verschillen, is het aantal rijstroken. De volgende begrippen zijn van belang binnen het geometrisch ontwerp van een wegvak (zie Afbeelding 3.1):

- rijbaan; een rijbaan is een aaneengesloten deel van de weg, bestemd voor verkeer in één richting;
- rijstrook; een rijstrook is een door markering begrensde gedeelte van de rijbaan dat bedoeld is om bereden te worden. Een rijbaan kan uit meerdere rijstroken bestaan;
- doorsnede; de doorsnede van een segment is de beschouwing in dwarsrichting van een punt van de rijbaan.

Afbeelding 3.1

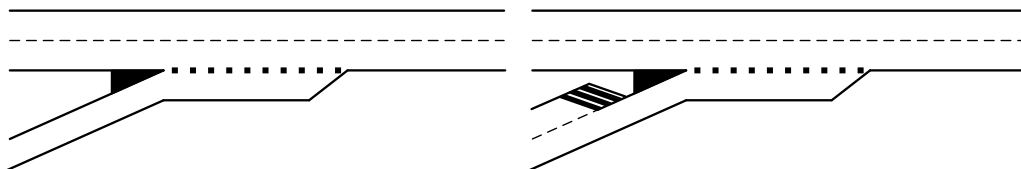
Relatie rijbaan, rijstrook en doorsnede

*Toelichting bij invoeging*

Een invoeging (of toerit) is een convergentiepunt waar een rijbaan - meestal met een lagere ontwerpsnelheid - door middel van een invoegstrook wordt ingevoerd in de doorgaande rijbaan (zie Afbeelding 3.2). Bij een invoeging heeft de doorgaande rijbaan na het convergentiepunt evenveel rijstroken als ervoor.

Afbeelding 3.2

Voorbeeld enkelstrooks invoeging met één en twee toeleidende rijstroken



Een invoeging heeft in principe één invoegstrook, die wordt voorafgegaan door een toeleidende rijbaan met één of twee rijstroken. Invoegen gebeurt uitsluitend aan de rechterzijde van de rijbaan.

Een invoeging is een segment, waarbij de dichtheid op de hoofdrijbaan toeneemt als gevolg van de toestroom van invoegend verkeer. De bestuurders op de invoegstrook moeten van strook wisselen om het eind van het segment te kunnen bereiken. Door het dwingende karakter van de strookwisselingen is het effect op de verkeersafwikkeling (lees: capaciteit) relatief groot. De verhouding tussen de intensiteit op de invoegstrook en de hoofdrijbaan speelt hierbij dan ook een rol.

Immers, als de intensiteit op de invoegstrook klein is ten opzichte van die op de hoofdrijbaan, zal de invloed van de invoeging beperkt zijn.

Bij grote drukte zullen bestuurders om van strook te wisselen tijdelijk een relatief kleine ruimte accepteren. Maar na de strookwisseling zullen zij de afstand ten opzichte van de voorligger weer willen laten toenemen. Dit geschiedt door aanpassing van de snelheid. Dit leidt bij het bereiken van de capaciteit tot grote snelheidsreducties en uiteindelijk tot congestie.

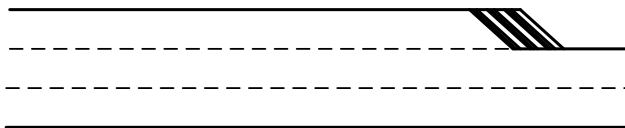
Bij een invoeging heeft tevens de hoeveelheid vrachtverkeer op de hoofdrijbaan invloed op het invoegende verkeer. Bij hoge percentages vrachtverkeer op de hoofdrijbaan is er dan zo veel vrachtverkeer op de rechter rijstro(o)k(en) aanwezig, dat het invoegen sterk wordt bemoeilijkt. Dit geldt vanaf circa 750 vrachtauto's per uur bij rijbanen met twee rijstroken of een inhaalverbod voor vrachtwagens. In dat geval zal de capaciteitswaarde voor een invoeging lager zijn dan de vermelde waarde in Tabel 3.2.

Toelichting bij rijstrookbeëindiging

Een rijstrookbeëindiging of -afstreping (altijd de meest linkerrijstrook) wordt toegepast om het aantal rijstroken te reduceren (zie Afbeelding 3.3). In principe wordt het aantal rijstroken slechts verminderd indien de (verwachte) verkeersintensiteit dit toelaat.

Afbeelding 3.3

Voorbeeld
rijstrookbeëindiging



De rijstrookbeëindiging introduceert per definitie een capaciteitsreductie. In tegenstelling tot een invoeging (aan de rechterzijde van de rijbaan) worden de verplichte rijstrookwisselingen over een langere afstand uitgevoerd en hoofdzakelijk door personenauto's.

3.2 Capaciteit van een weefvak

Een weefvak is een segment waar twee verkeersstromen samenkomen en weer uiteengaan, met een beperkte afstand tussen convergentie- en divergentiepunt en een kenmerkende markering met zogenaamde blokkenlijn als scheiding voor de twee bestemmingen. De maximale afstand tussen een convergentiepunt en een divergentiepunt waarbij een weefvak wordt toegepast is volgens de ROA 1500 meter. Een weefvak kent duidelijke begrenzingen waarbinnen de strookwisselingen zich moeten voltrekken. Weefvakken hebben in het algemeen een lagere capaciteit dan op grond van het aantal rijstroken verwacht mag worden. De volgende kenmerken zijn het meest bepalend voor de capaciteit van weefvakken:

- de weefvakconfiguratie met het aantal rijstroken per in- en uitgaande stroom;
- de lengte van het weefvak;
- de verkeerssamenstelling;
- de wevende verkeersstromen (verdeling over de herkomsten en bestemmingen);
- het snelheidsverschil tussen toeleidende rijbanen;
- de maximumsnelheid;
- een strenge handhaving van de maximumsnelheid.

In de tabellen 3.4, 3.5a en 3.5b worden capaciteitswaarden van symmetrische en asymmetrische weefvakken in autosnelwegen aangegeven. Het betreft een selectie van capaciteitswaarden. In Bijlage D en Bijlage E zijn capaciteitswaarden

opgenomen voor verschillende combinaties van weefvaklengten, percentages vrachtverkeer en aandeel wevende verkeersstromen. Waarden voor de afrijcapaciteiten van weefvakken zijn opgenomen in Bijlage F en Bijlage G. Aan het einde van deze paragraaf is de invloed van de bovenstaande kenmerken op de capaciteit weergegeven.

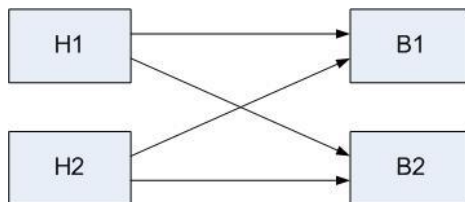
De capaciteitswaarden gelden voor standaard omstandigheden zoals vermeld in tabel 3.1. Bij afwijkende omstandigheden en/of vormgeving dient een aangepaste waarde voor de capaciteit te worden bepaald (zie hoofdstuk 4).

Indien de kenmerken van een weefvak anders zijn dan in de beschikbare tabellen (bijvoorbeeld andere wevende stromen en grote verschillen in aandeel vrachtverkeer), dan is een simulatie met FOSIM noodzakelijk. Bij kleine variaties kan een interpolatie worden toegepast, echter een FOSIM berekening dient de voorkeur te hebben.

Tabel 3.4

Capaciteitswaarden van
symmetrische weefvakken
met 15 % vrachtverkeer

weefvak configuratie	weefvaklengte [m]	H2 -> B1 ⁵ [%]	H1 -> B2 ⁶ [%]	capaciteit [mvt/h]
weefvak 1+1 ⁷	200	100 %	100 %	1.750
weefvak 2+1	600	50 %	25 %	5.590
		75 %	38 %	5.100
		100 %	50 %	4.860
weefvak 1+2	700	25 %	50 %	5.330
		50 %	100 %	4.520
weefvak 3+1	700	50 %	17 %	7.570
		75 %	23 %	6.840
		100 %	33 %	6.440
weefvak 2+2	750	25 %	25 %	7.690
		50 %	50 %	6.640
		75 %	75 %	5.620
weefvak 4+1	700	50 %	13 %	9.310
		75 %	19 %	8.450
		100 %	25 %	7.980
weefvak 3+2	900	25 %	17 %	9.710
		50 %	33 %	8.290
		75 %	50 %	6.790
weefvak 4+2	900	25 %	13 %	11.710
		50 %	25 %	9.880
		75 %	38 %	8.000
weefvak 3+3	1000	25 %	25 %	10.660
		50 %	50 %	7.810
		75 %	75 %	6.250
weefvak 5+1	700	50 %	10 %	11.090
		75 %	15 %	10.150
		100 %	20 %	9.130



⁵ Dit geeft het percentage wevend verkeer aan dat weeft van de rechter/onderste inkomende rijbaan naar de linker/bovenste uitgaande rijbaan (van H2 naar B1).

⁶ Dit geeft het percentage wevend verkeer aan dat weeft van de linker/bovenste inkomende rijbaan naar de rechter/onderste uitgaande rijbaan (van H1 naar B2).

⁷ Het 1+1 weefvak (200m) heeft betrekking op rangeerbanen in klaverbladen.

Tabel 3.5a

Capaciteitswaarden van
asymmetrische weefvakken
met 15 % vrachtverkeer;
vervolg zie Tabel 3.5ab

weefvak configuratie	weefvaklengte [m]	H2 -> B1 ⁸ [%]	H1 -> B2 ⁹ [%]	capaciteit [mvt/h]
weefvak 2+1 > 1+2	800	25 %	63 %	5.260
		50 %	75 %	4.850
		75 %	88 %	4.360
weefvak 1+2 > 2+1	800	50 %	0 %	6.020
		75 %	50 %	5.390
		100 %	100 %	4.780
weefvak 2+1 > 2+2	700	25 %	38 %	5.320
		50 %	50 %	5.170
		75 %	63 %	4.870
weefvak 2+1 > 2+2 taper	600	25 %	38 %	4.030
		50 %	50 %	4.010
		75 %	63 %	3.880
weefvak 2+2 taper > 2+1	750	50 %	17 %	5.280
		75 %	42 %	4.760
		100 %	67 %	4.460
weefvak 2+2 > 3+1	850	50 %	0 %	8.280
		75 %	25 %	7.450
		100 %	50 %	6.370
weefvak 3+1 > 2+2	850	25 %	42 %	7.360
		50 %	50 %	6.790
		75 %	58 %	5.900
weefvak 3+2 > 4+1	1.000	50 %	0 %	10.270
		75 %	17 %	9.440
		100 %	33 %	7.790
weefvak 4+1 > 3+2	1.000	25 %	31 %	9.240
		50 %	38 %	8.540
		75 %	44 %	7.580
weefvak 2+3 > 3+2	1.000	50 %	25 %	9.000
		75 %	63 %	6.900
weefvak 2+2 > 3+2	1.000	25 %	5 %	5.400
		50 %	30 %	5.710
		75 %	55 %	6.130
weefvak 2+2 > 3+2 taper	1.000	25 %	5 %	5.160
		50 %	30 %	5.040
		75 %	55 %	5.080
weefvak 3+1 > 3+2	800	25 %	28 %	6.400
		50 %	37 %	6.160
		75 %	45 %	6.170
weefvak 3+1 > 3+2 taper	700	25 %	38 %	5.180
		50 %	37 %	4.910
		75 %	45 %	4.640

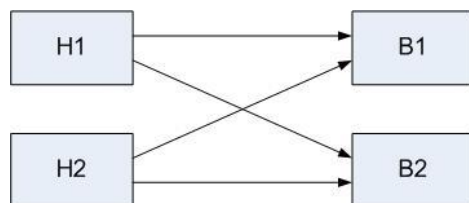
⁸ Dit geeft het percentage wevend verkeer aan dat weeft van de rechter/onderste inkomende rijbaan naar de linker/bovenste uitgaande rijbaan (van H2 naar B1).

⁹ Dit geeft het percentage wevend verkeer aan dat weeft van de linker/bovenste inkomende rijbaan naar de rechter/onderste uitgaande rijbaan (van H1 naar B2)

Tabel 3.5b

Capaciteitswaarden van
asymmetrische weefvakken
met 15 % vrachtverkeer;
vervolg Tabel 3.5a

weefvak configuratie	weefvaklengte [m]	H2 -> B1 ¹⁰ [%]	H1 -> B2 ¹¹ [%]	capaciteit [mvt/h]
weefvak 3+2 taper > 3+1	800	50 %	8 %	7.080
		75 %	25 %	6.230
		100 %	42 %	5.650
weefvak 4+1 > 4+2	800	25 %	23 %	7.800
		50 %	29 %	7.460
		75 %	35 %	7.280
weefvak 4+1 > 4+2 taper	700	25 %	23 %	6.140
		50 %	29 %	5.990
		75 %	35 %	5.690
weefvak 4+2 taper > 4+1	850	50 %	5 %	8.760
		75 %	18 %	7.150
		100 %	30 %	6.490
weefvak 5+1 > 5+2	800	25 %	19 %	8.720
		50 %	24 %	8.770
		75 %	29 %	8.260
weefvak 5+1 > 5+2 taper	700	25 %	19 %	7.430
		50 %	24 %	7.020
		75 %	29 %	6.610
		100 %	34 %	6.580
weefvak 5+2 taper > 5+1	850	50 %	3 %	10.520
		75 %	13 %	8.680
		100 %	23 %	6.850
weefvak 4+2 > 3+3	1.100	25 %	38 %	10.370
		50 %	50 %	8.710
		75 %	63 %	7.260
weefvak 3+3 > 4+2	1.100	50 %	17 %	10.970
		75 %	42 %	7.800
weefvak 5+1 > 4+2	1.000	25 %	25 %	11.150
		50 %	30 %	9.840
		75 %	35 %	8.930
weefvak 4+2 > 5+1	1.000	75 %	13 %	10.920
		100 %	25 %	9.140



¹⁰ Dit geeft het percentage wevend verkeer aan dat weeft van de rechter/onderste inkomende rijbaan naar de linker/bovenste uitgaande rijbaan (van H2 naar B1).

¹¹ Dit geeft het percentage wevend verkeer aan dat weeft van de linker/bovenste inkomende rijbaan naar de rechter/onderste uitgaande rijbaan (van H1 naar B2).

Geraadpleegde bronnen

- de capaciteitswaarden zijn gebaseerd op FOSIM-simulaties uitgevoerd in 2010 (FOSIM versie 5.1);

Noten bij de tabellen Tabel 3.4, Tabel 3.5a en 3.5b

- de capaciteitswaarden gelden voor een maximumsnelheid van 100 km/h of hoger (bij een ontwerpsnelheid 120 km/h); FOSIM-simulaties laten zien dat bij een maximumsnelheid van 100 km/h (en een ontwerpsnelheid van 90 km/h) de capaciteit nagenoeg gelijk is; bij 80 km/h (ontwerpsnelheid 70 km/h) zijn er wel grotere verschillen te zien; enkele configuraties zijn daarom ook met 80 km/h gesimuleerd; de resultaten zijn opgenomen in Bijlage D en Bijlage E;
- de capaciteitswaarden gelden voor de vermelde weefvaklengte en percentage wevend verkeer; het percentage vrachtverkeer in de tabel is 15 %; de capaciteitswaarden van andere (combinaties van) weefvaklengte, % wevend verkeer en % vrachtverkeer zijn opgenomen in Bijlage D en Bijlage E;
- voor de minimaal toe te passen weefvaklengten per weefvakconfiguratie wordt verwezen naar de vigerende Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA). De minimale lengte is afhankelijk van de ontwerpsnelheid (grotere lengte bij hogere snelheid) en het al dan niet symmetrisch zijn van het weefvak: bij asymmetrische weefvakken is de minimale lengte beduidend groter;
- de inkomende en uitgaande verkeerstromen zijn naar ratio van het aantal rijstroken;
- op basis van beschikbare metingen is een toets uitgevoerd op de capaciteitswaarden in de tabel (zie Bijlage J).

Weefvakconfiguratie

De configuratie van een weefvak heeft betrekking op het aantal stroken per rijbaan aan het begin en aan het einde van het weefvak. De weefvakconfiguratie kan symmetrisch of asymmetrisch zijn.

Symmetrische weefvakken zijn te herkennen aan:

- het totale aantal rijstroken van de samenkomende rijbanen is gelijk aan dat van de uit elkaar gaande rijbanen;
- het convergentie- en divergentiepunt liggen in het verlengde van dezelfde markeringslijn.

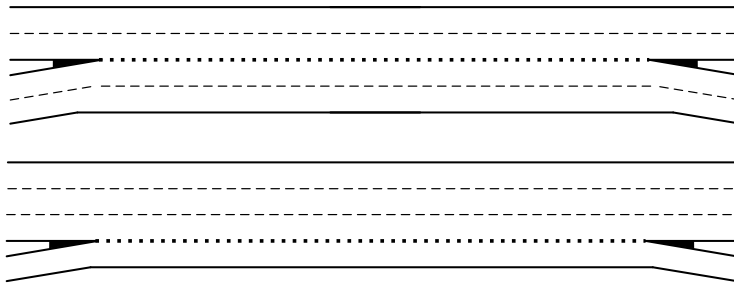
Bij asymmetrische weefvakken zijn er twee vormen:

- weefvakken waarbij het convergentie- en divergentiepunt niet langs dezelfde markeringslijn liggen;
- weefvakken met een extra rijstrook, doordat de twee uit elkaar gaande rijbanen samen uit capaciteitsoverwegingen meer rijstroken nodig hebben dan het weefvak zelf.

In Afbeelding 3.4 worden twee voorbeelden van een symmetrische weefvak(-configuratie) vermeld en in Afbeelding 3.5 twee asymmetrische weefvakken. De configuratie van het weefvak heeft gevolgen voor de rijstrookwisselingen die uitgevoerd moeten worden.

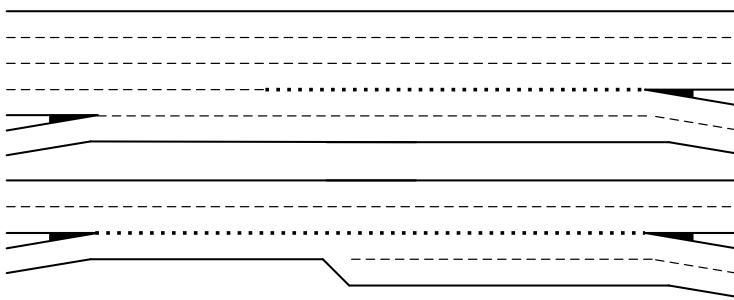
Afbeelding 3.4

Voorbeelden
symmetrisch weefvak



Afbeelding 3.5

Voorbeelden
asymmetrisch weefvak



Bij symmetrische weefvakconfiguraties wordt slechts het aantal rijstroken van de hoofdrijbaan en weefstroken vermeld, zodat voor de weefvakken van Afbeelding 3.4 de notatie van de configuratie is:

- 2+2;
- 3+1.

Bij asymmetrische weefvakconfiguraties wordt het aantal rijstroken van de hoofdrijbaan van het begin en het einde vermeld, zodat voor de weefvakken van Afbeelding 3.5 de notatie van de configuratie is:

- 4+1 > 3+2;
- 2+1 > 2+2.

Indien een taperinvoeging of taperuitvoeging aanwezig is in het weefvak, dan wordt dit aangegeven met een hoofdletter 'T', bijvoorbeeld:

- 2+2T > 2+1;
- 2+1 > 2+2T.

Bij een opdikkend weefvak, zoals het tweede weefvak van Afbeelding 3.5, begint de extra rijstrook aan de rechter zijde halverwege het weefvak.

Weefvaklengte

Indien de lengte van een weefvak toeneemt, zal de capaciteitswaarde eveneens toenemen. Echter, bij toenemende lengte zal de capaciteitstoename relatief minder worden. Dit wordt veroorzaakt doordat de meeste rijstrookwisselingen aan het begin van het weefvak plaatsvinden. De extra lengte aan het einde van het weefvak heeft dan een relatief beperkt effect op de capaciteit. Indien een specifieke weefvaklengte niet in de tabel is opgenomen, mag de capaciteitswaarde geïnterpoleerd worden tussen twee wel berekende weefvaklengten.

Voor de minimaal toe te passen weefvaklengten per weefvakconfiguratie wordt verwezen naar de vigerende Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen (ROA 2019). De

minimale lengte is afhankelijk van de ontwerpsnelheid (grotere lengte bij hogere snelheid) en het al dan niet symmetrisch zijn van het weefvak: bij asymmetrische weefvakken is de minimale lengte beduidend groter;

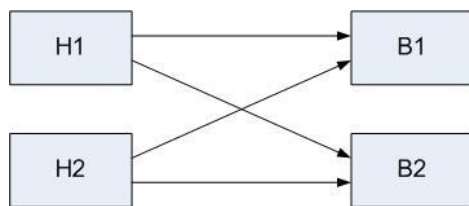
Verkeerssamenstelling

De capaciteit van weefvakken wordt mede bepaald door het aandeel vrachtverkeer. Bij een toename van het aandeel vrachtverkeer, zal de capaciteit van het weefvak afnemen. In Bijlage D en Bijlage E zijn voor diverse percentages vrachtverkeer capaciteitswaarden aangegeven. Indien een specifiek percentage vrachtverkeer niet in de tabel is opgenomen, dan kan met FOSIM een simulatie-berekening worden uitgevoerd. Dit verdient de voorkeur. Eventueel kan ook de capaciteitswaarde geïnterpoleerd worden tussen twee wel berekende waarden uit de tabel.

Wevende verkeersstromen

Afbeelding 3.6

Schematische weergave van wevende stromen op een weefvak



De verdeling over de herkomsten en bestemmingen van voertuigen in het weefvak is een bepalende factor voor de capaciteit. Als weinig voertuigen in een weefvak verplicht van rijstrook moeten wisselen, dan zal een aanmerkelijk hogere capaciteit haalbaar zijn dan wanneer op een weefvak veel motorvoertuigen van rijbaan moeten wisselen.

Afbeelding 3.6 toont schematisch de voorkomende verkeersstromen op een weefvak. Er zijn in het weefvak enerzijds de doorgaande verkeersstromen van herkomst 1 (H1) naar bestemming 1 (B1) en van herkomst 2 (H2) naar bestemming 2 (B2). Anderzijds zijn er de wevende (kruisende) verkeersstromen van herkomst 1 (H1) naar bestemming 2 (B2) en van herkomst 2 (H2) naar bestemming 1 (B1), waarbij voertuigen (verplicht) van rijstrook moeten wisselen.

In Bijlage D en Bijlage E zijn capaciteitswaarden opgenomen voor verschillende verhoudingen van wevende verkeerstromen. Elke capaciteitswaarde hoort bij een combinatie van twee percentages wevend verkeer: het percentage verkeer dat van de rechter/onderste rijbaan weeft naar de linker/bovenste rijbaan (van H2 naar B1) en het percentage verkeer dat van de linker/bovenste rijbaan weeft naar de rechter/onderste rijbaan (van H1 naar B2).

In de praktijk zal eerst het aandeel wevend verkeer bepaald moeten worden van het weefvak: de verkeersstroom van H2 naar B1 en de verkeersstroom van H1 naar B2 gerelateerd aan de totale verkeersstroom van H1 respectievelijk H2. Vervolgens wordt in Bijlage D of Bijlage E in de tabellen gezocht of er een combinatie van percentages wevend verkeer is die hiermee overeen komt. De capaciteitswaarde daarvoor is in de betreffende tabel vermeld. Hierbij kan voor elk percentage een marge van +/- 5 % worden aangehouden. Indien het percentage wevend verkeer te veel afwijkt van de tabellen in Bijlage D of Bijlage E, dan moet een FOSIM-simulatie worden uitgevoerd.

In onderstaande Tabel 3.6 zijn voor een symmetrisch weefvak 3+2 links de maatgevende verkeersstromen aangegeven in een herkomst-bestemmingstabel (H-B-tabel) en rechts een tabel met het percentage (wevend) verkeer. In plaats van tabel wordt ook gesproken van een matrix, dus een H-B-matrix.

Tabel 3.6

Voorbeeld van
bepalen percentages
wevend verkeer op
een weefvak

van \ naar	B1	B2	som			B1	B2
H1	4.000	2.000	6.000	mvt/h	H1	67 %	33 %
H2	2.000	2.000	4.000	mvt/h	H2	50 %	50 %
som	6.000	4.000	10.000	mvt/h			

Uitgegaan wordt van intensiteiten voor de inkomende en uitgaande verkeersstromen van een weefvak naar ratio van het aantal rijstroken. In de meest rechtse kolom ('som') van de linker kant van tabel 3.6 worden voor herkomst H1 en H2 de intensiteiten gegeven: voor H1 6.000 mvt/h (3 rijstroken) en voor H2 4.000 mvt/h (2 rijstroken). Voor H2 geldt een aandeel wevend verkeer van 50 % (rechter tabel, cel linksonder, van H2 naar B1), waardoor de overige verkeersstromen in het weefvak vastliggen. Het aandeel 50 % van H2 naar B1 geldt voor de totale verkeersstroom van H2 (4.000 mvt/h) zodat de stroom H2 naar B1 een grootte heeft van 2.000 mvt/h. Van H2 naar B2 gaat daardoor eveneens 2.000 mvt/h. Bestemming B2 heeft eveneens 2 rijstroken (symmetrisch weefvak) en 4.000 mvt/h, waardoor de wevende verkeersstroom H1 - B2 ook 2.000 mvt/h moet zijn. De doorgaande stroom H1 - B1 is dan 4.000 mvt/h. Het percentage wevend verkeer voor H1 wordt $2.000/6.000 \times 100 \% = 33 \%$

In Bijlage D is te zien dat de bijbehorende capaciteit van het 3+2 weefvak, bij een weefvaklengte van bijvoorbeeld 1.000 m en een percentage vrachtverkeer van bijvoorbeeld 5 %, 10.010 mvt/h is.

Maximumsnelheid

In dit handboek wordt steeds uitgegaan dat de vermelde maximumsnelheid voor het gehele weefvak geldt, dus zowel voor de hoofdrijbaan als weefstro(o)k(en). De snelheid van het verkeer dat een weefvak nadert, kan soms per toeleidende rijbaan verschillen. Indien het verschil in snelheid tussen de beide toeleidende rijbanen 20 km/h of meer is, zal dat effect hebben op de capaciteit. Voor weefvakken met afwijkende gereden snelheden en met snelheidsverschillen tussen de linker en de rechter toeleidende rijbaan zal een FOSIM-simulatie moeten worden uitgevoerd.

Strenge handhaving

Harms (2006) heeft gevonden dat strenge handhaving van de snelheidslimiet kan leiden tot een capaciteitsreductie. Het invoeren van een strenge handhaving van de maximumsnelheid leidt dan tot minder dynamiek¹² in het verkeer. Indien de maximumsnelheid 70 tot 80 km/h is en streng gehandhaafd wordt, dan is de dynamiek nog lager dan bij hogere snelheidslimieten. De capaciteitsreductie doet zich vooral voor bij weefvakken en invoegstroken in combinatie met de strenge handhaving van de maximumsnelheid. De voorgaande situatie doet zich voor bij de zogenaamde 80 km/h zones ten behoeve van de luchtkwaliteit.

Effect van weefvaklengte, verkeerssamenstelling, wevend verkeer en snelheid

Het effect van weefvaklengte, verkeerssamenstelling, wevende verkeersstromen en maximumsnelheid op de capaciteit van een weefvak wordt uitgebreid aangegeven

¹²

Onder dynamiek wordt hier verstaan: acceleratie/deceleratiepatronen, rijstrookwisselingen en snelheidsverschillen tussen rijstroken of voertuigen.

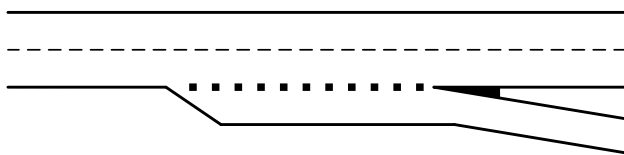
voor een 2+2 symmetrisch weefvak in Bijlage H. In Bijlage D en Bijlage E zijn capaciteitswaarden opgenomen voor verschillende configuraties van weefvakken, waarbij minder uitgebreid gevarieerd wordt in lengten, percentage vrachtverkeer en aandeel wevende verkeersstromen. Bij kleine afwijking tussen het te bepalen weefvak en de beschikbare waarden in de tabellen, kan een interpolatie worden toegepast. Bij grotere afwijkingen is een simulatie met FOSIM noodzakelijk.

3.3 Capaciteit van een uitvoeging

Een uitvoeging of afrit is een divergentiepunt waar een rijbaan door middel van één of meer uitrijstroken wordt afgeleid van de doorgaande rijbaan.

Afbeelding 3.7

Voorbeeld uitvoeging



De doorgaande rijbaan heeft na het divergentiepunt evenveel rijstroken als ervoor (zie Afbeelding 3.7). Er is daardoor in principe geen reden om aan te nemen dat de capaciteit wordt beperkt. Er zijn echter twee situaties van een uitvoeging ten behoeve van een afrit, waarbij de capaciteit wel degelijk lager kan zijn dan de standaardwaarde voor het overeenkomstige aantal rijstroken van de hoofdrijbaan. Beide situaties betreffen congestie rondom de uitvoeging. Deze congestie kan veroorzaakt worden door:

- terugslag/filevorming van gelijkvloerse kruising aan het einde van de afrit; doordat verkeer op de afrit stil staat of langzamer rijdt, wordt ook het verkeer op de hoofdrijbaan gehinderd met een capaciteitsdaling tot gevolg;
- een hoog aandeel verkeer voor de afrit; aangenomen mag worden dat de capaciteit van de uitvoegstrook lager is dan de capaciteit van één rijstrook; dit komt door de uitvoegbewegingen en de lagere snelheid op de uitvoegstrook; daarnaast kan stroomopwaarts van de uitvoegstrook (op de hoofdrijbaan) de intensiteit op de rechter rijstrook hoog oplopen vanwege voorsorteergedrag met mogelijk eveneens filevorming tot gevolg.

Bij een intensiteit op de afrit van 1.000 mvt/h of meer dient de afrit met twee rijstroken te worden uitgevoerd. Bij intensiteiten tussen de 700 en 1.000 mvt/h verdient het de voorkeur om de afrit eveneens van twee rijstroken te voorzien.

Het uitvoegen gebeurt uitsluitend aan de rechterzijde, waarbij gebruik gemaakt wordt van een uitrijstrook (uitvoegstrook). Deze is bedoeld om het verkeer in de gelegenheid te stellen snelheid te minderen. Dat is over het algemeen noodzakelijk vanwege een lagere ontwerpsnelheid van de afrit. Bij een afrit met twee rijstroken wordt de uitvoegstrook langs de hoofdrijbaan eveneens van twee rijstroken voorzien. Eventueel kan een taper worden toegepast. Hier zijn echter strikte voorwaarden aan verbonden, zie paragraaf 3.5.

3.4 Capaciteit van een samenvoeging

Een samenvoeging is een convergentiepunt waar twee rijbanen - meestal met dezelfde ontwerpsnelheid - onder een flauwe hoek samenkomen. De beide toeleidende rijbanen zijn gelijkwaardig aan elkaar in functie. De rechter rijstrook van de toeleidende rechter (onderste) rijbaan gaat over in de rechter rijstrook van de rijbaan na de samenvoeging. De toeleidende linker (bovenste) rijbaan heeft dus na het convergentiepunt meer stroken dan ervoor. De linker (bovenste) toeleidende

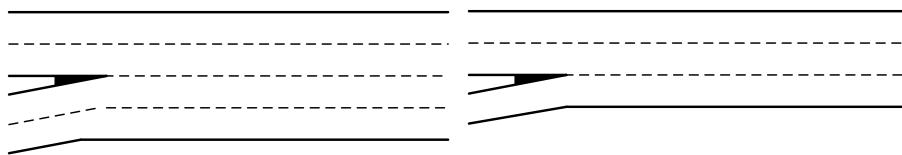
rijbaan wordt wel aangeduid als hoofdrijbaan. Bij de zuivere vorm van een samenvoeging is de som van het aantal rijstroken voor en na de samenvoeging gelijk (zie Afbeelding 3.8).

Indien bij de samenvoeging het aantal stroken voor en na de samenvoeging gelijk is, zal dit uit oogpunt van capaciteit over het algemeen weinig verschil uit maken. Wel zullen rijstrookwisselingen optreden als gevolg van een herschikking van de voertuigtypen over de rijstroken (vrachtverkeer gaat rechts rijden; snel autoverkeer links), maar deze spreiden zich uit over een relatief groot gebied.

De capaciteit van het aantal rijstroken stroomafwaarts van de samenvoeging (zie Tabel 3.2) wordt gebruikt als capaciteitswaarde van een samenvoeging, omdat de invloed van de samenvoeging op de capaciteit naar verwachting klein is.

Afbeelding 3.8

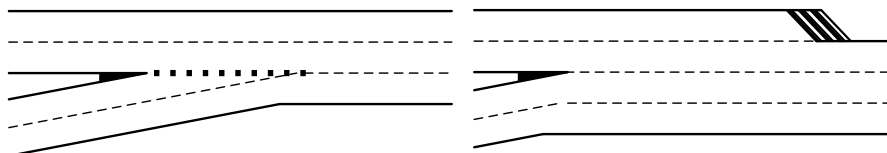
Voorbeeld zuivere samenvoeging



Het kan wenselijk zijn om het aantal stroken bij een samenvoeging terug te brengen. Dit kan op twee manieren: door middel van een taper of door middel van een rijstrookbeëindiging van de meest linker rijstrook.

Afbeelding 3.9

Samenvoeging met een vermindering van het aantal rijstroken d.m.v. een taper en een strookbeëindiging na het convergentiepunt



Bij een zogenaamde taperinvoeging wordt de linker rijstrook van de toeleidende rechter (onderste) rijbaan wigvormig beëindigd direct na het convergentiepunt (zie paragraaf 3.5).

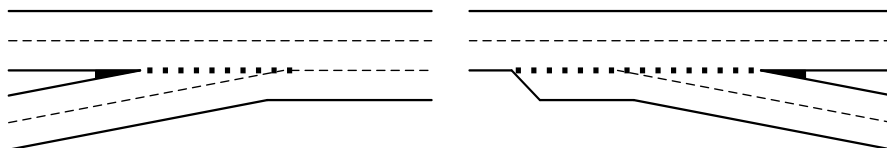
Bij een rijstrookbeëindiging wordt uit oogpunt van verkeersafwikkeling en veiligheid de linker en niet de rechter strook afgestreept. Immers, het invoegen van een stroom van personenauto's verloopt in het algemeen beter dan een verkeersstroom waarin ook een aanzienlijk aantal vrachtwagens voorkomt. Een rijstrookbeëindiging na het convergentiepunt aan de linker zijde heeft de voorkeur ten opzichte van een taperinvoeging. Een taperinvoeging mag alleen toegepast worden in uitzonderingssituaties, zie paragraaf 3.5.

3.5 Capaciteit van een tapsamenvoeging

Een tapsamenvoeging is een convergentiepunt waarbij twee rijbanen onder een flauwe hoek samenkomen. De rechter rijstrook van de rechter (onderste) rijbaan gaat over in de rechter rijstrook van de rijbaan na de samenvoeging. De linker rijstrook van de rechter (onderste) rijbaan heeft een korte wigvorm die over gaat in de rechter rijstrook van de linker (bovenste) rijbaan.

Afbeelding 3.10

Tapsamenvoeging en een taperuitvoeging



Tabel 3.7

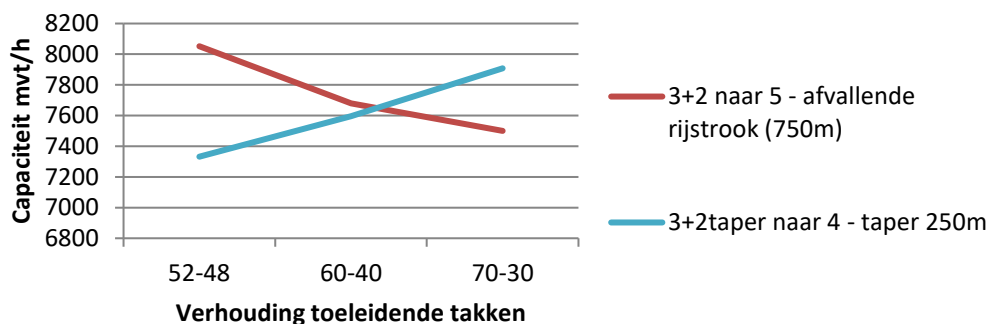
Capaciteitswaarden
tapersamenvoegingen

wegvak	capaciteit [mvt/h]
Tapersamenvoeging 2 + 2 rijstroken > 3	5.800
Tapersamenvoeging 3 + 2 rijstroken > 4	8.000

Voor de capaciteit heeft een tapersamenvoeging lichte voordelen ten opzichte van een samenvoeging met rijstrookbeëindiging in de situatie dat de rechter (onderste) rijbaan in verhouding tot het aantal rijstroken duidelijk een lager verkeersaanbod heeft. Het verkeer op de drukkerre linker (bovenste) rijbaan kan dan namelijk de eigen rijstrook blijven volgen en van de rustigere rechter (onderste) rijbaan hoeft minder verkeer via de taperende rijstrook in te voegen. Tevens heeft deze configuratie als voordeel dat vrachtverkeer minder rijstroken hoeft op te schuiven. Ter illustratie is in Afbeelding 3.11 de capaciteit van een 3+2taper samenvoeging versus een 3+2 samenvoeging gevolgd door een afvallende rijstrook weergegeven bij verschillende verhoudingen van de toeleidende verkeersstromen. Deze vergelijking is uitgevoerd met behulp van FOSIM.

Afbeelding 3.11

Vergelijking
samenvoeging en
tapersamenvoeging bij
verschillende verhouding
verkeersstromen



Toepassing en I/C-verhouding

Tapersamenvoegingen dienen met de nodige voorzichtigheid te worden toegepast. Er zijn namelijk beperkingen opgelegd aan de toepassing van tapersamenvoegingen. De reden is dat verkeer op de taperende rijstrook opgesloten kan worden met een noodstop of uitwijkmanoeuvres en een onveilige situatie tot gevolg. Taperinvoegingen kunnen alleen toegepast worden als de I/C-verhouding van beide toeleidende rijbanen lager dan 0,7 zijn.

Verkeersmanagementmaatregel

Tapersamenvoegingen kunnen wel zondermeer toegepast worden in combinatie met een verkeersmanagementmaatregel, die bestaat uit het afkruisen van één van de toeleidende rijstroken naar de taper met behulp van verkeerssignalering. De tapersamenvoeging wordt daardoor niet als zodanig gebruikt. In de normale situatie wordt de rijstrook die naar de taper leidt en afvalt afgesloten. Dit betreft dus de linker rijstrook van de rechter (onderste) toeleidende rijbaan. In situaties met een verhoogde intensiteit door een reguliere spits of omleidingen ten gevolge van incidenten, werkzaamheden etc. wordt deze rijstrook opgesteld en de doorgaande rijstrook naar de taper van de andere (linker) toeleidende rijbaan afgekruid.

Lengte van de taper

Nadrukkelijk wordt gesteld dat tapersamenvoegingen een minimum lengte hebben, afhankelijk van de ontwerpsnelheid en deze lengte mag nooit onderschreden

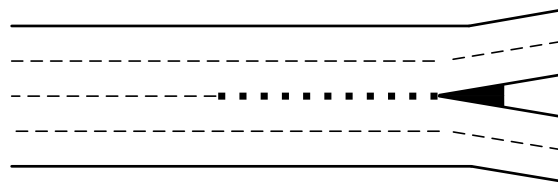
worden. Een kleinere taperlengte heeft (binnen de marge van minimum- en maximumlengte) een licht negatief effect op de capaciteit. Voor ontwerpsnelheden lager dan 120 km/h wordt bij voorkeur meer dan de minimumlengte toegepast, echter nooit meer dan 250 m. De lengte van de taperinvoeging bij een ontwerpsnelheid van 120 km/h is 250 m en deze is gelijk ook de maximaal toe te passen lengte. Een grotere lengte dan 250 m heeft als risico dat deze te veel op een extra rijstrook lijkt en kan leiden tot, uit oogpunt van verkeersveiligheid, ongewenst dubbel gebruik.

Taperuitvoeging

Taperuitvoegingen zijn in principe zonder veiligheidsproblemen toe te passen, echter wel onder bepaalde voorwaarden. Een risico is dat bij filevorming op de afrit of verbindingsweg met taper de file via de taper terugslaat op de hoofdrijbaan. Zonder taper zal de file zich in ieder geval op de uitvoegstrook opstellen. Daarom is het gebruik van een taperuitvoeging gebonden aan een afrit zonder kans op filevorming of verbindingsweg en zal voldoende opstelruimte op de afrit of verbindingsweg aanwezig moeten zijn om die situaties met filevorming zonder veiligheidsproblemen te faciliteren. De doorstroming van taperuitvoegingen dient daarom altijd met behulp van een FOSIM-simulatie aangetoond te worden onder de specifieke projectomstandigheden (ROA 2019). Verkeerssignalering is bij een taperuitvoeging noodzakelijk. Een configuratie met bijkomende rechterrijstrook in de uitvoegstrook (of weefvak) verdient de voorkeur. In situaties waarbij de invoegstrook (of weefvak) het toeleidende wegvak is voor een knooppunt of een hoofd- en parallelbaansysteem, zal een bijkomende rechterrijstrook in de invoegstrook of weefvak in combinatie met voldoende lengte voor zeker 3 bewegwijzeringsportalen boven het weefvak worden toegepast. De redenen zijn naast doorstroming en veiligheid, ook het benadrukken van een belangrijke situatie door een zekere allure te creëren.

3.6 Capaciteit van een splitsing

Een splitsing is een divergentiepunt waar één rijbaan onder een flauwe hoek overgaat in twee rijbanen, veelal met dezelfde ontwerpsnelheid. De rechter rijstrook van de rijbaan vóór het divergentiepunt wordt meestal voortgezet in de rechter rijstrook van de rechter uitgaande rijbaan ná dat punt. Bij de zuivere vorm van een splitsing is de som van het aantal rijstroken voor en na de splitsing gelijk (zie Afbeelding 3.12).



Afbeelding 3.12

Voorbeeld splitsing

Bij een splitsing verdeelt het verkeer zich over de rijstroken. Rijstrookwisselingen die van invloed zijn op de capaciteit, vinden stroomopwaarts van het splitsingspunt plaats over een relatief groot gebied. Dit is afhankelijk van de bewegwijzering voor de splitsing.

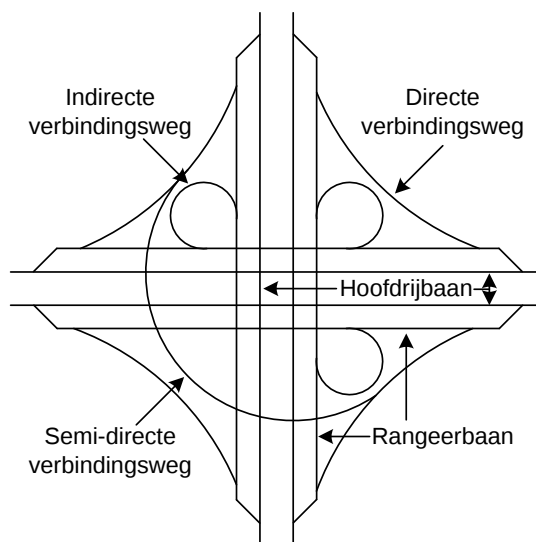
De splitsing kan beschouwd worden als een vereenvoudigd weefvak, waarbij de verdeling van de verkeersstroom over de beide takken voor zowel personenauto's als vrachtverkeer, bepalend zijn voor de capaciteit. Ook de beschikbare lengte, waarover rijstrookwisselingen kunnen plaatsvinden is van belang. Met een FOSIM-simulatie kan voor specifieke situaties de capaciteit berekend worden.

3.7 Capaciteit van knooppunten

Knooppunten in het autosnelwegennet verdienen speciale aandacht. In veel gevallen zijn knooppunten bepalend voor het functioneren van het gehele wegennet. Bovendien wordt via knooppunten de doorstroming van meerdere autosnelwegen beïnvloed. De elementen die daarbij een rol spelen zijn de aansluitende wegvakken voor en na het knooppunt, het type knooppunt in combinatie met de verbindingswegen, rangeerbanen en weefvakken. Ook het type verbindingswegen is daarbij van belang. Verbindingswegen in knooppunten bestaan uit directe, indirecte of semi-directe verbindingswegen (zie Afbeelding 3.13).

Afbeelding 4.13

Voorbeeld knooppunt



Verbindingswegen in knooppunten verdienen bijzondere aandacht. De keuze voor het aantal rijstroken dient niet alleen door de te verwachten verkeersintensiteit bepaald te worden. De volgende aspecten zijn van belang bij het bepalen van het aantal rijstroken van verbindingswegen in knooppunten:

- verkeersintensiteit;
- aandeel vrachtverkeer;
- totale lengte van de verbindingsweg;
- functie van de verbindingsweg als onderdeel van het netwerk (netwerkvisie);
- verkeersmanagement (robuustheid wegennet, netwerkmanagement).

Er dient een integrale analyse en afweging plaats te vinden, waarbij bovengenoemde aspecten expliciet in een geëigende rapportage wordt vastgelegd.

Een klaverblad is een knooppunt met twee autosnelwegen en vier armen. Gezien de ontwerpsnelheid van 120 km/h voor de hoofdrijbaan en 50 km/h voor de indirecte verbindingswegen ('lussen') in combinatie met korte weefvakken tussen de indirecte verbindingswegen, zijn rangeerbanen noodzakelijk (zie Afbeelding 3.13 voor een voorbeeld van indirecte verbindingswegen en een rangeerbaan).

De weefvakken in de rangeerbanen van klaverbladen hebben een beperkte capaciteit. De reden hiervoor is een hoog aandeel wevend verkeer (meestal zelfs 100 %) en een beperkte beschikbare lengte voor het weefvak. Zie hiervoor het weefvak 1+1 in Tabel 3.4.

Capaciteit van een verbindingsweg in een knooppunt

Belangrijke factoren bij de capaciteit van verbindingswegen zijn het horizontaal alignement (de grootte van de boogstraal) en het verticaal alignement (de helling). Indirecte verbindingswegen/-lussen hebben doorgaans de kleinste boogstralen en daardoor de hoogste invloed op de capaciteit.

Ook de lengte van verbindingswegen is van belang. Bij grotere lengte van een verbindingsweg is uitvoering met twee rijstroken noodzakelijk (zie ook ROA 2019). De reden hiervoor is dat met één rijstrook de capaciteit te veel terugloopt doordat langzamere voertuigen gaten in de verkeersstroom laten vallen en de verkeersveiligheid minder goed is door gehinderde personenauto's. Uiteraard is hiermee ook de robuustheid van het wegennet gebaat en zal tevens de invoeging op een (hoofd)rijbaan betere verlopen doordat er minder clustervorming is.

Van verbindingswegen in knooppunten zijn er maar weinig empirische gegevens beschikbaar over de capaciteit, aangezien de verbindingswegen doorgaans niet de bottleneck zijn. Op basis van de beperkte beschikbare capaciteitsmetingen (zie ook Bijlage 3) zijn onderstaande capaciteitswaarden bepaald als uitgangspunt. Gezien het beperkte aantal beschikbare metingen én de grote verscheidenheid aan vormgeving van verbindingswegen (o.a. lengte en boogstraal) dienen deze waarden wel met de nodige voorzichtigheid toegepast te worden.

Tabel 3.8

Capaciteitswaarden
verbindingswegen

wegvak	capaciteit [mvt/h]
Verbindingslus 1 rijstrook	1.650
Verbindingsboog 1 rijstrook	1.700
Verbindingsboog 2 rijstroken	3.000

3.8 Capaciteit van hoofd- en parallelstructuur

Doorgaande en regionale verkeersstromen kunnen ontvlecht worden door de toepassing van een wegenstructuur met een hoofdbaan en een parallelbaan. Hierbij bestaat de autosnelweg uit in totaal vier rijbanen, waarbij de twee buitenste rijbanen de parallelbanen worden genoemd. De aansluitingen van het onderliggend wegennet (OWN) zijn aan de parallelbanen gelegen, waardoor het doorgaande verkeer op de hoofdbanen niet gehinderd wordt door de in- en uitvoegbewegingen van en naar de toe- en afritten van aansluitingen tussen hoofdwegennet (HWN) en onderliggend wegennet (OWN). Diverse (ontwerp)factoren kunnen bijdragen aan de keuze voor een hoofd- en parallelstructuur. De capaciteit is hierbij doorgaans niet het uitgangspunt.

Een hoofd- en parallelstructuur biedt onder andere voordelen bij veel verstoringen op een korte afstand door uitwisseling met het onderliggend wegennet en bij korte weefvakken. Ook is bij volledige afsluiting van de hoofd- of parallelbaan de andere rijbaan nog beschikbaar en kunnen zware doorgaande vrachtautostromen (circa 750 vrachtwagen per uur of meer) gefaciliteerd worden. Dergelijke zware vrachtautostromen veroorzaken eerder congestie dan op grond van de intensiteit en capaciteit van het wegvak of traject verwacht zou worden. Bij aansluitingen wordt in- en uitvoegend verkeer dan namelijk gehinderd door een zogenaamde 'muur van vrachtverkeer', waarbij vooral invoegen een probleem wordt. Een hoofd- en parallelbaansysteem heeft twee voordelen, die elkaar versterken. Ten eerste worden de vrachtautostromen verdeeld over de hoofdbaan en de parallelbaan en ten tweede zijn op de hoofdbaan geen aansluitingen aanwezig.

Er zijn echter ook nadelen. Zo wordt doorgaans niet de volledige capaciteit benut doordat de verkeersstromen zijn opgeknipt en een variatie in doorgaande en regionale verkeersstromen niet flexibel kan worden opgevangen. Ook neemt een hoofd- en parallelstructuur bij hetzelfde totale aantal rijstroken meer ruimte in beslag door de aanwezigheid van een extra vluchtstrook en tussenberm (Transpute 2012).

Voor de capaciteit van de losse hoofd- of parallelbaan dient uitgegaan te worden van de capaciteit van de betreffende wegvakken. Voor het totaal van de hoofd- en parallelbaan kan niet enkel uitgegaan worden van de som van de hoofd- en parallelbaan, maar dient er rekening gehouden te worden met de verdeling van de verkeersstromen over de beide rijbanen. In de praktijk zullen niet zowel de hoofd- als de parallelbaan volledig benut worden.

3.9 Capaciteit van een extra strook

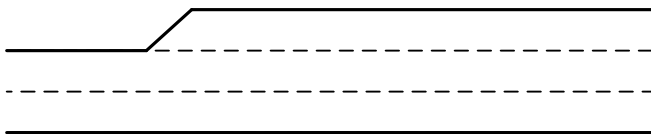
Een extra strook is de uitbreiding van het aantal rijstroken. Deze extra rijstrook wordt aan de linkerzijde van de rijbaan toegevoegd (zie Afbeelding 3.14). Dit leidt tot een capaciteitstoename.

De capaciteit bij een situatie met een extra toegevoegde rijstrook is gelijk aan de capaciteit van het aantal rijstroken stroomafwaarts na de extra rijstrook. Zie hiervoor Tabel 3.2.

Daarbij moet worden opgemerkt dat deze capaciteit nooit bereikt zal worden, omdat het maximale verkeersaanbod ter plaatse beperkt wordt door de capaciteit van het aantal rijstroken stroomopwaarts van de extra rijstrook. Deze capaciteit is per definitie lager dan de capaciteit direct stroomafwaarts van de extra rijstrook.

Afbeelding 3.14

Voorbeeld extra strook



3.10 Capaciteit van autowegen en het onderliggend wegennet

Het Handboek Wegontwerp 2013 – Regionale stroomwegen (CROW 2013b) geeft aan dat de capaciteit van een 2x1-strooks regionale stroomweg met een maximumsnelheid van 100 km/h (autoweg) lager is dan de capaciteit van een rijstrook van een twee- of driestrooks autosnelweg.

De capaciteit in het Handboek Wegontwerp 2013 wordt in pae/h weergegeven en bedraagt bij een niet-volledig homogene verkeersstroom onder ideale omstandigheden 1.500 pae/h voor een doorgaande rijstrook (tegen ongeveer 2.200 pae/h voor een autosnelweg met 1 rijstrook). Deze capaciteiten zijn zonder meet- of simulatiegegevens tot stand gekomen.

Recentere metingen ten behoeve van het Handboek CIA (Arcadis 2019c) laten echter een capaciteit zien van 1.900 pae/h. Hierbij is dezelfde methode gehanteerd als bij de overige capaciteitsberekeningen in dit Handboek.

Bij een regionale stroomweg met 2x2 rijstroken bedraagt de capaciteit onder ideale omstandigheden volgens het Handboek Wegontwerp 2013 circa 4.000 pae/h per

richting (tegen ongeveer 4.800 pae/h voor een autosnelweg met 2 rijstroken). Voor een regionale stroomweg met 2x1 rijstroken bedraagt de capaciteit 1.300 pae/h.

Voor verdere informatie over autowegen wordt verwezen naar het Handboek Wegontwerp 2013.

Tabel 3.9

Capaciteitswaarden
niet-autosnelwegen

wegvak	capaciteit [mvt/h]	Bron
Autoweg 1 rijstrook (2x1)	1.650	Meting
Autoweg 2 rijstroken (2x2)	3.500	Handboek
Stroomweg 70 km/uur (2x1)	1.300	Handboek
Stroomweg rotonde 80 km/uur (2x1)	800	Meting

In bovenstaande tabel gelden de vermelde waarden voor autowegen met 1 en 2 rijstroken bij 15 % vrachtverkeer. Bij gelijkvloerse kruisingen, zoals een rotonde gelden hogere pae-waarden dan 2,0, namelijk 4 tot 5.

Bij het bepalen van de capaciteit van wegen op het onderliggend wegennet zijn vaak gelijkvloerse kruisingen met andere wegen bepalend. Voor deze situaties zijn geen standaard waarden beschikbaar, maar is de capaciteit en de verkeersafwikkeling sterk afhankelijk van de vormgeving, verkeerscondities en regeling van de VRI (met eventueel aanwezige instellingen voor prioriteit en dergelijke). Het bepalen van de capaciteit voor het OWN is daarom maatwerk. Meer informatie daarover is te vinden in het Handboek Wegontwerp 2013 (CROW 2013a).

4 Capaciteitswaarden bij afwijkende omstandigheden

In hoofdstuk 3 zijn de capaciteitswaarden beschreven onder standaard omstandigheden (zie Tabel 3.1). Als er op een wegvak niet aan deze standaard omstandigheden wordt voldaan, kan dat invloed hebben op de capaciteit. Dit hoofdstuk beschrijft de verschillende invloedsfactoren van afwijkende omstandigheden die de standaard capaciteitswaarden kunnen beïnvloeden. Voor veel afwijkende omstandigheden worden reductiefactoren voor de standaard capaciteitswaarden gegeven:

- infrastructurele factoren (paragraaf 4.1);
- omgevingsfactoren (paragraaf 4.2);
- verkeersfactoren (paragraaf 4.3);
- verkeersmanagement factoren (paragraaf 4.4);
- ontwikkelingen in-carsystemen en ITS (paragraaf 4.5);
- incidentele factoren (paragraaf 4.6).

Om de capaciteitswaarde te bepalen voor de hier genoemde situaties en omstandigheden, dient de capaciteitswaarde voor standaard omstandigheden uit hoofdstuk 3 met de reductiefactor te worden vermenigvuldigd, zodat de capaciteitswaarde van de afwijkende situatie wordt verkregen.

Voor veel invloedsfactoren is een eenduidige factor voor het effect op de capaciteit niet te geven, omdat deze invloedsfactor niet of onvoldoende gemeten kan worden. Deze invloedsfactoren zijn door hun aard moeilijk te kwantificeren. Voor zover mogelijk worden de invloedsfactoren in dit hoofdstuk wel kwantitatief uitgedrukt met een reductiefactor. Sommige invloedsfactoren hebben een positief effect op de capaciteit zodat sprake is van een ophoogfactor. Wanneer een invloedsfactor niet te kwantificeren is, wordt volstaan met een kwalitatieve beschrijving.

Er dient enigszins terughoudend omgegaan te worden met het combineren van verschillende invloedsfactoren. Hierop wordt in paragraaf 4.7 nader ingegaan.

4.1 Infrastructurele factoren

De volgende infrastructurele factoren kunnen invloed hebben op de capaciteit:

- dwarsprofiel;
- objectafstand;
- vluchtstroken;
- hellingen;
- horizontale en verticale boogstralen (alignement);
- type wegdek;
- tunnel.

4.1.1 *Dwarsprofiel*

Het dwarsprofiel van een weg bestaat uit een aantal elementen: rijstroken, redresseerstrook, vluchtstrook, bergingszone, vluchtzone, geleiderails, objecten zoals bijvoorbeeld geluidsschermen (zie Bijlage A: Begrippenlijst voor een toelichting). Indien de standaardbreedtes en -maten gehanteerd worden, kan uitgegaan worden van de standaard capaciteitswaarden van het vorige hoofdstuk 3. Er zijn ook situaties waarbij sommige elementen ontbreken, zoals bergingszone, vluchtzone of vluchtstrook. Indien de overige elementen de standaardmaten hebben conform de richtlijnen, dan is de invloed op de capaciteit marginaal en kan eveneens uitgegaan worden van de standaard capaciteitswaarden. Maar als sommige

elementen een minimummaat of -afstand hebben, of zelfs een kleinere breedte of afstand dan de standaardmaten en -afstanden van de richtlijnen, dan is wel een reductie van de standaard capaciteitswaarden te verwachten. Dit wordt verder versterkt als ook nog bepaalde elementen, zoals een redresseerstrook of vluchtstrook, ontbreken.

Autosnelwegen die stammen uit de jaren 30 of jaren 50, voldoen op een aantal onderdelen niet aan de vigerende Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen. De capaciteit van discontinuïteiten is daarom wat lager dan bij nieuwere autosnelwegen, die wel aan de richtlijnen voldoen. Het gaat dan om een 5 tot 10 % lagere capaciteit dan de standaard capaciteitswaarden. Dit valt uit Grontmij (2009) af te leiden. Het benadrukt nog eens dat de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen strikt opgevolgd dient te worden.

Rijstrookbreedte

Bij een ontwerpssnelheid van 120 km/h is de standaard rijstrookbreedte 3,50 m, zoals in de vigerende Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen is aangegeven. Een iets smallere rijstrookbreedte (tot 15 cm) zal een marginaal effect op de capaciteit hebben onder de voorwaarde dat overige elementen van het dwarsprofiel conform de richtlijn zijn. Voor rijstrookbreedtes tot 3,00 m en een maximumsnelheid van hoogstens 100 km/h, wordt hooguit een kleine reductie (enkele procenten) van de capaciteit ten opzichten van de standaard capaciteitswaarden verwacht. Andere factoren zijn dan meestal van groter belang.

Indien de rijstrookbreedtes aanzienlijk smaller dan 3,50 m worden, vaak in combinatie met een smalle redresseerstrook, dan kan een aanzienlijke reductie van de capaciteit optreden. Bij een rijstrookbreedte van 3,05 m op een spitsstrook links (eerder plusstrook genoemd) is nauwelijks reductie van de capaciteit gemeten. Dit komt overeen met bovenstaande opmerking dat een geringe reductie van de rijstrookbreedte nauwelijks invloed heeft op de capaciteit als de overige factoren goed zijn.

Bij een spitsstrook links met een breedte van 2,50 – 2,75 meter is de reductie van de capaciteit van één rijstrook circa 200 mvt/h, ofwel ongeveer 10%, ten opzichte van de capaciteit voor één rijstrook met een breedte van 3,50 m (ontwerpsnelheid 120 km/h) (Sweco 2018). In paragraaf 4.4.3 wordt verder ingegaan op de capaciteitswaarde voor een spitsstrook. Uit de tabellen 5.1 en 5.3 in paragraaf 5.1 is een reductie van ongeveer 25 % voor één rijstrook af te leiden. Hierbij zijn ook andere effecten inbegrepen, zoals het ontbreken van een vluchtstrook, smalle redresseerstroken en een minder gunstig wegbeeld.

Toelichting rijstrookbreedte

Hoe smaller de rijstrook, des te moeilijker wordt het om te voldoen aan de criteria bewegingsvrijheid, verplaatsingssnelheid, veiligheid en comfort. Daaraan is vooral het fenomeen 'vetergang' debet: het feit dat bestuurders niet in een rechte lijn rijden, maar een beetje slingeren. Dit wordt veroorzaakt door elementen als (zij)wind, onvolkomenheden aan de auto, oneffenheden in het wegdek, afleiding en onoplettendheid van de bestuurder en de traagheid waarmee weggebruikers (kunnen) reageren op onverwachte/gedwongen koersveranderingen. De vetergang wordt erger naarmate de voertuigsnelheid toeneemt. Bij smallere rijstroken zullen bestuurders het lastiger vinden om de vetergang te corrigeren (binnen de rijstrook te blijven, zowel gevoelsmatig als werkelijk) en zullen zij hun snelheid verlagen om dit te vergemakkelijken. Ook inhaalmanoeuvres op smalle rijstroken worden vaker

uitgesteld, omdat de ruimte om in te halen (vooral bij vrachtwagens) dan erg beperkt wordt.

4.1.2 *Objectafstand*

Indien de objectafstanden conform de richtlijnen worden gehanteerd, is geen effect op de capaciteit te verwachten. Een kleinere objectafstand (circa 0,30 m) dan volgens de richtlijnen, zal een marginaal effect op de capaciteit hebben.

Metingen bij diverse knelpunten (Grontmij 2015) laten zien dat de capaciteit bij een zeer kleine objectafstand gemiddeld zo'n 5 % lager ligt dan bij een objectafstand conform de richtlijnen (Grontmij 2015).

Een kleinere objectafstand dan conform de richtlijnen, in combinatie met andere elementen met afwijkende maten kan echter wel een aanzienlijk effect hebben op de capaciteit. Een voorbeeld hiervan is de Merwedeburg. Met een combinatie van smallere rijstroken en een zeer kleine objectafstand is hier een capaciteitsreductie van circa 14 % gemeten (Grontmij 2015).

Toelichting objectafstand

Door obstakels aan de kant van de weg zoals geleiderails, barrières, geluidsschermen, brugleuningen, tunnelwanden of verkeer op een parallelle rijstrook, lijkt de beschikbare ruimte kleiner (wegbeeld). Bestuurders kunnen hierdoor last krijgen van 'bermvrees', waardoor zij langzamer zullen willen rijden, vergelijkbaar met een beperkte rijstrookbreedte.

4.1.3 *Vluchtstroken*

Er zijn enige kwantitatieve gegevens bekend over het effect op de capaciteit van het ontbreken van een vluchtstrook. Indien de weg een standaard dwarsprofiel conform de vigerende Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen heeft, mag verwacht worden dat het effect van een ontbrekende vluchtstrook gering is. Dit wordt onderschreven door enkele metingen van knelpunten zonder vluchtstrook (maar met normale rijstrookbreedtes) waar geen significante reductie van de capaciteit aanwezig was (Grontmij 2015).

Toelichting vluchtstroken

Het ontbreken van een vluchtstrook vermindert de robuustheid en de betrouwbaarheid van het betreffende wegvak en het netwerk. Bij een incident zal de capaciteit van de weg sterker afnemen dan in een situatie met vluchtstrook.

4.1.4 *Hellingen*

Van deze invloedsfactor zijn op dit moment geen kwantitatieve effecten bekend. Aangenomen mag worden dat het effect bij kleine hellingspercentages (<2,5 %) over kortere afstanden beperkt zal zijn. Vrachtwagens kunnen bij kleine hellingspercentages over lange afstand langzamer gaan rijden, waardoor de capaciteit lager wordt.

Toelichting hellingen

Hellingen zorgen voor lagere rij snelheden, vooral bij grote en zware voertuigen. Daarnaast beïnvloedt een helling het acceleratievermogen van motorvoertuigen, wat bijvoorbeeld het inhaalgedrag beïnvloed. Het effect neemt toe bij steilere en/of langere hellingen. Dit is in Nederland slechts op een beperkt aantal locaties het geval.

4.1.5 *Horizontale en verticale boogstralen*

Van deze invloedsfactor zijn weinig kwantitatieve effecten bekend. Bij enkele verbindingswegen in knooppunten is een reductie zichtbaar van ongeveer 10 % ten opzichte van de standaard capaciteit van een recht wegvak (zie paragraaf 3.7). De hoeveelheid beschikbare kwantitatieve gegevens is echter te beperkt om algemene reductiefactoren te kunnen bepalen.

Toelichting horizontale boogstralen

De grootte van een horizontale boogstraal bepaalt samen met de snelheid van een voertuig, welke horizontale krachten op voertuig en bestuurder werken. Leidt de combinatie boogstraal - snelheid tot een niet-comfortabele horizontale kracht, dan zal de bestuurder geneigd zijn het gas los te laten of zelfs actief te remmen. De horizontale boogstraal bepaalt tevens (mede) hoe ver de bestuurder vooruit kan kijken om te anticiperen op de verkeerssituatie. Bij krappe boogstralen en/of bij minder zicht mag verwacht worden dat de capaciteit afneemt.

Toelichting verticale boogstralen

De verticale boogstraal bepaalt (mede) het zicht dat de bestuurder heeft op stroomafwaartse weggedeelten. Bij een verminderd zicht zal de bestuurder zijn snelheid verlagen en/of minder goed kunnen anticiperen op de verkeerssituatie stroomafwaarts. Verwacht mag worden dat hierdoor de capaciteit afneemt.

4.1.6 *Staat en type wegdek*

Van deze invloedsfactor zijn op dit moment geen kwantitatieve effecten bekend. Aangenomen mag worden dat het effect op de capaciteit beperkt is. Uitzondering hierop is het verschil tussen dicht asfalt beton (DAB) en zeer open asfalt beton (ZOAB) in regenachtige omstandigheden. Zie hiervoor paragraaf 4.2.1.

Toelichting wegdek

Hoe een bestuurder het wegdek onder verschillende condities ervaart, wordt bepaald door de oppervlaktelaag van de verharding. Denk hierbij aan kleur, contactgeluid en waterafvoerende eigenschappen. Een droge, ruisarme en donkere verharding ervaren weggebruikers als comfortabel. Die leidt dan ook tot hogere snelheden en een lagere taakbelasting, waardoor meer aandacht overblijft voor de interacties met andere weggebruikers.

4.1.7 *Tunnel*

Van deze invloedsfactor zijn slechts beperkte kwantitatieve gegevens bekend. Het effect kan per situatie verschillend zijn afhankelijk van lokale factoren, zoals de aanwezigheid van vluchtstroken. Uit een meting voor de Coentunnel te Amsterdam (oude situatie) is een capaciteitsreductie van circa 4,5 % op de standaard capaciteitswaarde gevonden (Grontmij 2015). Op deze locatie was ten tijde van de meting sprake van het ontbreken van de vluchtstroken, hellingen en objecten op korte afstand van de rijbaan (tunnelwanden). De Coentunnel is met een dergelijk profiel echter niet representatief voor alle tunnels in Nederland.

Toelichting tunnel

Bij het inrijden van een tunnel zullen bestuurders zich anders gedragen. In extreme gevallen kan er zelfs sprake zijn van tunnelvrees. Bepaalde bestuurders gaan langzamer rijden en meer afstand houden tot de wanden. Dit aangepaste rijgedrag zorgt voor een lagere capaciteit.

4.2 Omgevingsfactoren

De verkeersafwikkeling en daarmee de capaciteit wordt ook beïnvloed door omgevingsfactoren. In deze paragraaf wordt ingegaan op het effect van verschillende reguliere omgevingsfactoren:

- regen (paragraaf 4.2.1);
- mist (paragraaf 4.2.2);
- lichtcondities (paragraaf 4.2.3);
- afleiding (paragraaf 4.2.4).

Extreme omgevingsfactoren zoals sneeuw, extreme neerslag of ijzel zijn buiten beschouwing gelaten, omdat dit soort situaties in de praktijk nooit maatgevend zijn voor het ontwerp, er weinig tot geen gegevens over de capaciteit bekend zijn en deze omstandigheden sterk kunnen verschillen in omvang en effect.

4.2.1

Regen

Tabel 4.1 geeft de reductiefactoren van regen op de capaciteit. De capaciteitswaarden voor standaard omstandigheden uit hoofdstuk 3 dienen vermenigvuldigd te worden met de reductiefactoren, zodat de capaciteitswaarden van de afwijkende situatie wordt verkregen.

Zeer Open Asphalt Beton (ZOAB) voert regenwater veel beter af dan Dicht Asphalt Beton (DAB), waardoor minder kans op aquaplaning ontstaat, de markering beter zichtbaar blijft en het zicht op andere voertuigen niet vermindert. Hierdoor is het effect van regen op de capaciteit bij DAB naar verwachting groter dan bij ZOAB. Er zijn echter geen bronnen gevonden die het verschil in effect van neerslag bij DAB en ZOAB hebben onderzocht.

Tabel 4.1

Reductiefactor voor regen

situatie	reductiefactor
droog	1,00
lichte tot matige regen	0,95
zware regen	0,90

Geraadpleegde bronnen

- Grontmij (2009); Hoogendoorn (2010).

Noten bij de tabel

- de capaciteit bij standaard omstandigheden voor het betreffende wegvak wordt gesteld op 1,00 (100 %);
- voor een nat wegdek is ten minste 2 mm/uur neerslag als uitgangspunt genomen.
- de reductiefactor geldt voor nat Zeer Open Asphalt Beton (ZOAB); Dit is een aanname zonder zekerheid; bij nat Dicht Asphalt Betont (DAB) zal de reductiefactor groter zijn. De inschatting is dat de capaciteit van DAB in regen enkele procenten lager zal zijn dan de capaciteit van ZOAB tijdens regen;
- er dient enigszins terughoudend te worden omgegaan met het combineren van verschillende invloedsfactoren; deze kunnen niet altijd zondermeer met elkaar worden vermenigvuldigd (zie ook paragraaf 4.7).

Toelichting regen

Weercondities, zoals regen, hebben invloed op de verkeersafwikkeling. Regen heeft als effect dat automobilisten hun snelheid en onderlinge afstanden aanpassen. Dit heeft een lagere capaciteit tot gevolg. Bij discontinuïteiten geldt bovendien dat het rijstrookwisselgedrag wordt bemoeilijkt omdat het zicht minder goed is.

Hoewel niet helemaal gelijk wordt ook wel de term neerslag gebruikt in plaats van regen.

4.2.2 *Mist*

Er zijn weinig kwantitatieve gegevens bekend van het effect van mist. In één onderzoek (Hoogendoorn 2010) wordt een capaciteitsreductie van ongeveer 10 % geconstateerd. Het effect hangt echter af van de dichtheid van de mist in combinatie met de zichtafstand en kan dus sterk variëren.

Toelichting mist

Mist heeft als effect dat automobilisten hun snelheid en onderlinge afstanden aanpassen. Er treden dan grote verschillen op in de onderlinge afstanden tussen de motorvoertuigen. Dit heeft een lagere capaciteit tot gevolg.

4.2.3 *Lichtcondities*

Tabel 4.2 geeft de reductiefactoren voor verschillende lichtcondities. De capaciteitswaarden voor standaard omstandigheden uit hoofdstuk 3 dienen vermenigvuldigd te worden met de reductiefactoren, zodat de capaciteitswaarden van de afwijkende situatie wordt verkregen.

Tabel 4.2

Reductiefactoren
voor verschillende
lichtcondities

situatie	reductiefactor
daglicht	1,00
wegverlichting	0,97
duisternis	0,95

Geraadpleegde bronnen

- Al-Kaisy en Hall (2003); van Goeverden, Botma en Bovy (1998); van Toorenburg (1986).

Noten bij de tabel

- de capaciteit bij standaard omstandigheden voor het betreffende wegvak wordt gesteld op 1,00 (100 %);
- er dient enigszins terughoudend te worden omgegaan met het combineren van verschillende invloedsfactoren; deze kunnen niet altijd zondermeer met elkaar worden vermenigvuldigd (zie ook paragraaf 4.7).

Toelichting lichtcondities

Lichtcondities hebben invloed op de verkeersafwikkeling. Duisternis kan leiden tot een daling van de capaciteit, omdat bestuurders hun rijgedrag aanpassen. Wegverlichting kan bij duisternis de afname van de capaciteit beperken.

4.2.4 *Afleiding*

Er zijn enige kwantitatieve gegevens bekend van het effect van afleiding door bijvoorbeeld een incident (op dezelfde of de andere rijbaan), maar het effect kan zeer sterk variëren afhankelijk van de bron van de afleiding. Onderzoek (Hoogendoorn 2010) laat zien dat de capaciteitsreductie kan oplopen tot 50 %. Recente metingen (Arcadis 2019) bevestigen dit beeld, met reducties in de capaciteit als gevolg van incidenten van 30 % tot 60 % (gemiddeld ongeveer 35 % reductie ten opzichte van de standaard afrijcapaciteit van het nog beschikbare aantal rijstroken). Files als gevolg van ongevallen op de andere rijbaan (kijkfiles) lieten hierbij een vergelijkbare reductie van de capaciteit zien als bij ongevallen op de eigen rijbaan.

Toelichting afleiding

Een bestuurder kan afgeleid raken door bijzondere omstandigheden. Een bekend fenomeen is de zogenaamde kijkfile, die ontstaat bij een ongeval op de andere rijbaan. Naast gebeurtenissen kunnen ook objecten naast de weg voor afleiding zorgen. Men besteedt minder aandacht aan de rijtaak, waardoor bijvoorbeeld grotere volgfstanden ontstaan.

4.3 Verkeersfactoren

Het verkeer bepaalt mede de verkeersafwikkeling en daarmee de capaciteit. In deze paragraaf worden de volgende invloeden behandeld:

- de verkeerssamenstelling;
- de bekendheid van de bestuurder met de situatie.

Overige verkeersfactoren als het snelheidsverschil tussen toeleidende rijbanen en de maximumsnelheid staan genoemd in paragraaf 3.2.

4.3.1*Verkeerssamenstelling*

Tabel 4.3 geeft de reductiefactoren voor de verkeerssamenstelling (percentage vrachtverkeer) bij een pae-factor van 2,0 (zie toelichting over het gebruik van de pae-factor verderop in deze paragraaf). In bijlage J zijn reductiefactoren opgenomen voor andere pae-factoren.

Tabel 4.3

Reductiefactoren
verkeerssamenstelling
bij een pae-factor van
2,0

van	naar % vrachtverkeer (bij een pae-factor van 2,0)						
% vrachtverkeer	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
0 %	1,00	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,77
5 %	1,05	1,00	0,95	0,91	0,88	0,84	0,81
10 %	1,10	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88	0,85
15 %	1,15	1,10	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88
20 %	1,20	1,14	1,09	1,04	1,00	0,96	0,92
25 %	1,25	1,19	1,14	1,09	1,04	1,00	0,96
30 %	1,30	1,24	1,18	1,13	1,08	1,04	1,00

Geraadpleegde bronnen

- de reductiefactoren zijn berekend met de formules die hierna in de toelichting worden beschreven.

Noten bij de tabel

- de tabel kan gebruikt worden voor het omrekenen van de capaciteit in mvt/h bij een bepaald percentage vrachtverkeer naar de capaciteit bij een ander percentage vrachtverkeer (ook in mvt/h);
- vanaf circa 750 vrachtauto's per uur kunnen de reductiefactoren voor het aandeel vrachtverkeer niet zondermeer toegepast worden; een nadere analyse met FOSIM is noodzakelijk;
- onderscheid naar licht en zwaar vrachtverkeer wordt niet gemaakt; als vrachtverkeer worden alle motorvoertuigen bestempeld, die langer zijn dan 5,60 meter; er wordt uitgegaan van een gelijke verdeling (50/50) tussen licht en zwaar vrachtverkeer, bij een oververtegenwoordiging van zwaar vrachtverkeer zal de capaciteit lager zijn omdat de pae-factor dan in feite hoger is dan 2,0;
- in de situatie dat de reductiefactor groter is dan 1,00, betreft het feitelijk een ophoogfactor, waarbij de capaciteit in mvt/h toeneemt.

Toelichting verkeerssamenstelling

Omdat voor verschillende voertuigtypen verschillend rijgedrag te verwachten is, zal de verkeerssamenstelling moeten worden meegenomen bij het bepalen van de capaciteit. Het belangrijkste kenmerk in de verkeerssamenstelling is het aandeel vrachtverkeer. Kenmerkend verschil tussen personenauto's en vrachtauto's is het kleinere acceleratievermogen van een vrachtwagen, evenals de grotere ruimte die het inneemt. Een vrachtwagenbestuurder kan moeilijker van rijstrook wisselen. Ook daalt de snelheid van het voertuig bij lange hellingen. Daarnaast speelt ook zichtafstand mee: voertuigen achter een vrachtwagen houden vaak meer afstand doordat ze niet voorbij de vrachtwagen kunnen kijken. In het algemeen geldt: hoe groter het aandeel vrachtverkeer, hoe lager de capaciteit. Om een kwantitatief verband te leggen tussen het aandeel vrachtverkeer en de capaciteit wordt gebruik gemaakt van personenauto-equivalenten (pae).

Toelichting personenauto-equivalenten (pae)

Personenauto-equivalenten zijn een rekeneenheid waarmee motorvoertuigen worden herleid om onderlinge vergelijking met betrekking tot de verkeersintensiteiten en capaciteiten mogelijk te maken onafhankelijk van het percentage vrachtverkeer. Dit betekent dat elke vrachtwagen met de pae-factor vermenigvuldigd dient te worden om uit te komen op personenauto-equivalenten. Op deze wijze vindt een omrekening plaats van motorvoertuigen per uur (mvt/h) naar personenauto-equivalenten per uur (pae/h).

Als voor vrachtauto's een pae-factor van 2,0 wordt gehanteerd, dan wordt uitgegaan van het effect dat één vrachtauto dezelfde invloed heeft op de verkeersafwikkeling als twee personenauto's. 1.000 mvt/h met 10 % vrachtverkeer is dan gelijk aan 1.100 pae/h (900 personenauto's en 100 vrachtauto's die 'dubbel tellen'). Deze omrekening van mvt naar pae is weergegeven in onderstaande formule:

$$C_{pae} = C_{mvt} * [(f_{pae}-1) * \%VA + 1]$$

met:

- C_{pae} = de capaciteit in pae/h;
- C_{mvt} = de capaciteit in mvt/h;
- f_{pae} = de pae-factor voor vrachtverkeer;
- $\%VA$ = het aandeel vrachtverkeer in procenten.

Andersom kan vanuit personenauto-equivalenten eveneens terug gerekend worden naar motorvoertuigen (met bijbehorend percentage vrachtverkeer):

$$C_{mvt} = C_{pae} / [(f_{pae}-1) * \%VA + 1]$$

Te hanteren pae-factor

De te hanteren pae-factor is sterk afhankelijk van de situatie. Diverse onderzoeken komen op verschillende waarden, afhankelijk van de verkeerssituatie. In het Handboek CIA wordt vooralsnog een pae-factor van 2,0 gebruikt.

4.3.2 *Onbekendheid van bestuurders met de situatie*

Er zijn weinig kwantitatieve gegevens bekend van het effect van onbekendheid van bestuurders met een situatie. Het Handboek CIA (2002) noemt voor onbekende bestuurders een reductie van tussen de 10 % en 25 % op de capaciteit. Duidelijk is dat het effect sterk kan variëren en dat het effect significant kan zijn.

Toelichting onbekendheid bestuurders met de situatie

Indien een bestuurder bekend is met de situatie (wegbeeld), dan zal dit minder drukken op de taakbelasting van de bestuurder. De bestuurder heeft dan meer aandacht voor het overige verkeer en weet bijvoorbeeld wanneer voorgesorteerd moet worden of juist dat er nog genoeg gelegenheid (ruimte) is om van rijstrook te kunnen wisselen. Op trajecten of tijdstippen met relatief veel niet-regelmatige (dus niet-bekende) gebruikers, zoals recreatief verkeer, moet dus rekening worden gehouden met minder efficiënt weggebruik en een lagere capaciteit.

Een correct wegbeeld gerelateerd aan standaard ontwerpelementen zoals dwarsprofiel, boogstralen, zicht, bewegwijzering, markering etc. zorgt ervoor dat ook onbekende bestuurders geen of een marginale reductie in de capaciteit veroorzaken. Het benadrukt nog eens dat de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen strikt opgevolgd dient te worden.

4.4 Verkeersmanagementfactoren

Verkeersmanagementmaatregelen zijn gericht op het informeren, geleiden en/of sturen van het verkeer. Ze hebben dus invloed op de verkeersafwikkeling en daarmee op de capaciteit. In relatie tot de capaciteit zijn vooral de zogenaamde 'benuttingsmaatregelen' relevant.

De hieronder genoemde verkeersmanagementmaatregelen en hun effecten zijn vooral gebaseerd op de Leidraad model- en evaluatiestudies benuttingsmaatregelen (2002) en het rapport van Goudappel Coffeng en Arcadis (2002). In deze documenten is meer informatie te vinden over de genoemde maatregelen.

De volgende verkeersmanagementmaatregelen worden behandeld:

- verkeerssignalering (paragraaf 4.4.1);
- afkruisen van rijstroken (paragraaf 4.4.2);
- spitsstroken rechts en links (paragraaf 4.4.3);
- inhaalverbod voor vrachtverkeer (paragraaf 4.4.4);
- toeritdoseerinstallatie of TDI (paragraaf 4.4.5);
- dynamische route informatiepaneel of DRIP (paragraaf 4.4.6);
- snelheidsmaatregelen (paragraaf 4.4.7).

4.4.1

Verkeerssignalering

Tabel 4.4 geeft de reductiefactor voor verkeerssignalering.

Tabel 4.4

Reductiefactoren
verkeerssignalering

Situatie	reductiefactor	opmerkingen
verkeerssignalering	1,00	
geen verkeerssignalering	1,00 - 0,95	Gemiddeld is de factor 0,98

Geraadpleegde bronnen

- Rijkswaterstaat WVL;
- Taale (2022).

Noten bij de tabel

- de standaard capaciteitswaarden uit hoofdstuk 3 zijn bepaald op autosnelwegen met verkeerssignalering, omdat daar (de meeste) meetgegevens beschikbaar zijn; daarom is de situatie mét verkeerssignalering op 100 % gesteld (factor 1,00);
- verkeerssignalering speelt ook een belangrijke rol bij het voorkomen van verstoringen en incidenten en heeft daarmee ook een positieve invloed op de doorstroming;

- er dient enigszins terughoudend te worden omgegaan met het combineren van verschillende invloedsfactoren; deze kunnen niet altijd zondermeer met elkaar worden vermenigvuldigd (zie ook paragraaf 4.7).

Toelichting verkeerssignalering

Met behulp van matrixborden boven de weg en meetlussen in de weg, wordt het verkeer automatisch gewaarschuwd voor congestie stroomafwaarts door het tonen van de maximumsnelheden van 70 en 50 km/h. Bestuurders worden hierdoor eveneens geïnformeerd indien stroomafwaarts (nog) geen filevorming is. Bestuurders kunnen hiermee iets kortere volgtijden en -afstanden accepteren met een hogere capaciteit tot gevolg. Zonder verkeerssignalering is daarom de capaciteit lager dan met verkeerssignalering.

4.4.2 *Afkruisen van rijstroken*

Indien het afkruisen van de linker rijstrook zonder (zichtbare) aanleiding wordt ingezet, dan kunnen de capaciteitswaarden horende bij een rijstrookbeëindiging aangehouden worden (zie paragraaf 3.1).

Bij het afkruisen van de rechter rijstrook mag aangenomen worden dat de capaciteit lager is dan bij het afkruisen van de linker rijstrook, omdat meer vrachtverkeer van rijstrook moet wisselen. Hier zijn geen kwantitatieve gegevens van beschikbaar.

Indien er sprake is van een incident (of andere afleiding), dan dient rekening gehouden te worden met een reductiefactor voor afleiding (zie paragraaf 4.2.4). Voor het afkruisen bij wegwerkzaamheden wordt verwezen naar hoofdstuk 5.

Toelichting afkruisen

Het afkruisen van rijstroken gebeurt met behulp van de matrixborden van de verkeerssignalering. Er wordt eerst een verdrijfpijl boven de afgesloten rijstrook getoond en vervolgens rode kruizen.

4.4.3 *Spitsstroken rechts en links (plusstrook)*

De afgelopen jaren zijn er diverse metingen uitgevoerd van de capaciteit van spitsstroken (zie onder andere Arcadis 2018b en Sweco 2018). Deze metingen zijn echter voornamelijk uitgevoerd op locaties zonder (structurele) file, waardoor niet de gebruikelijke methoden voor het bepalen van de capaciteit (zie paragraaf 2.8) toegepast konden worden. Duidelijk is dat een spitsstrook extra capaciteit oplevert, maar de capaciteitstoename is, afhankelijk van de uitvoering en breedte, minder dan het effect van een reguliere extra rijstrook.

Metingen van Arcadis (2015b) en Sweco (2019) bij een spitsstrook links met een breedte van rond de 3,10 m laten een capaciteit zien van ongeveer 6.200 mvt/h. Dit is vergelijkbaar met een normaal wegvak van 3 rijstroken (ook 6.200 mvt/h). De linker rijstrook wordt in deze situatie niet door (breed) vrachtverkeer bereden, waardoor de kleinere rijstrookbreedte slechts beperkt tot geen invloed heeft op de capaciteit. Metingen bij een spitsstrook links met een duidelijk beperktere breedte van 2,5 – 2,75 m laten een capaciteit zijn van ongeveer 6.000 mvt/h. Dit is dus ongeveer 200 mvt/h of 10 % lager dan een reguliere rijstrook van een rijbaan met 3 rijstroken.

Metingen bij een spitsstrook rechts geven een gemiddelde capaciteitswaarde van ongeveer 6.000 mvt/h. De capaciteit van de spitsstrook is daarmee dus ongeveer mvt/h, ofwel 10 %, lager dan een reguliere extra rijstrook.

Onderzoek van Grontmij (2015b) laat zien dat de spitsstrook rechts bij lage I/C-verhoudingen minder gebruikt wordt dan een reguliere rechter rijstrook. Bij hogere I/C-verhoudingen is het gebruik van de spitsstrook rechts echter (nagenoeg) gelijk aan een reguliere rechter rijstrook. Bij spitsstroken links is het gebruik van de linker rijstrook (de spitsstrook) ook lager dan dat van linker rijstroken op reguliere trajecten met drie rijstroken. Het verschil is echter minder groot dan bij spitsstroken rechts.

Toelichting spitsstroken

Een spitsstrook rechts is een vluchtstrook, die in drukke (spits)perioden opengesteld wordt voor verkeer. Het is een extra rijstrook, maar bepaalde maten zijn geringer dan de vigerende Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen voorschrijft voor een autosnelweg met drie rijstroken zonder vluchtstrook. De redresseerstrook aan de rechterzijde is meestal van een geringe breedte. Ook zijn rijstrookbreedtes meestal iets smaller (3,25 tot 3,40 m). Dit komt omdat spitsstroken rechts toegepast worden op bestaande autosnelwegen.

Een spitsstrook links is een linker rijstrook, die alleen opengesteld wordt in drukke (spits)perioden. De extra rijstrook is meestal smaller dan de gebruikelijke breedte van 3,50 m. In tegenstelling tot een spitsstrook rechts, is bij een spitsstrook links wel een vluchtstrook aan de rechterzijde beschikbaar.

4.4.4

Inhaalverbod voor vrachtverkeer

Tabel 4.5 geeft de reductiefactor voor een statisch inhaalverbod voor vrachtverkeer.

Tabel 4.5

Reductiefactor
inhaalverbod voor
vrachtverkeer

Situatie	reductiefactor	opmerkingen
geen inhaalverbod	1,00	
inhaalverbod voor vrachtverkeer	0,96 - 1,04	toename capaciteit van gemiddeld 1 %

Geraadpleegde bronnen

- Goudappel Coffeng en Arcadis (2002);
- Goudappel Coffeng (2006);
- Taale (2022).

Noten bij de tabel

- bij de reductiefactor 0,96 - 1,04 gaat het om een range; het effect van een inhaalverbod op de capaciteit varieert in de aangehaalde onderzoeken tussen de -4 % en +4 %. Taale (2022) geeft een gemiddelde stijging van de capaciteit van 1 % (gebaseerd op een gemiddelde van 5 evaluatiestudies). Aangegeven wordt dat de effecten zeer locatie specifiek zijn;
- de waarde geldt voor een statisch inhaalverbod (op vaste tijdstippen en vaste locaties);
- de onderzoeken waar de waarde op is gebaseerd betroffen bijna allemaal een rijbaan met twee rijstroken;
- de gemiddelde reductiefactor is groter dan 1. Het inhaalverbod voor vrachtverkeer heeft dus een positief effect op de capaciteit (binnen onderstaande voorwaarden);
- er dient enigszins terughoudend te worden omgegaan met het combineren van verschillende invloedsfactoren; deze kunnen niet altijd zondermeer met elkaar worden vermenigvuldigd (zie ook paragraaf 4.7).

Het inhaalverbod voor vrachtverkeer is vooral kansrijk bij een hoog verkeersaanbod in combinatie met een laag aandeel vrachtverkeer. Indien er sprake is van een groot

aandeel vrachtverkeer, dan kunnen vrachtauto's in lange colonnes achter een langzamere collega terecht komen. Dit kan het in- en uitvoegen voor het overige verkeer bemoeilijken, waardoor de capaciteit kan afnemen. Bij meer dan 600 vrachtwagens per uur en twee rijstroken functioneert het inhaalverbod voor vrachtverkeer niet meer goed en zal geen capaciteitswinst optreden. Indien veel toe- en afritten aanwezig zijn, dan verkleint dit de kans dat de maatregel een positief effect heeft op de capaciteit.

Toelichting inhaalverbod voor vrachtverkeer

Op een aanzienlijk aantal locaties met twee rijstroken is het gedurende spitsperioden voor vrachtwagens niet toegestaan in te halen. Door het inhaalverbod worden personenauto's op de linker rijstrook niet gehinderd door inhalende vrachtauto's. Door het ontbreken van langdurige inhaalmanoeuvres van vrachtverkeer, komt meer ruimte voor personenauto's beschikbaar en dat kan capaciteitswinst opleveren.

4.4.5

Toeritdoseerinstallatie (TDI)

Tabel 4.6 geeft de reductiefactor voor een TDI.

Tabel 4.6

Reductiefactor
toeritdoseerinstallatie

situatie	reductiefactor	opmerkingen
toerit zonder toeritdoseerinstallatie	1,00	
toerit met toeritdoseerinstallatie	1,00 - 1,05	toename capaciteit van gemiddeld 2%

Geraadpleegde bronnen

- Goudappel Coffeng en Arcadis (2002);
- Taale (2022).

Noten bij de tabel

- het effect van een TDI op de capaciteit is afhankelijk van de lokale situatie; onderzoeken laten een positief effect zien op de capaciteit met een toename tussen de 0 en 5 %, waarbij een goede inregeling en vervolgens een goed verkeerskundig beheer heeft plaatsgevonden. Volgens Taale (2022) is de gemiddelde capaciteitstoename van een TDI 2%;
- het capaciteitseffect is van toepassing op de hoofdrijbaan, op het direct stroomafwaarts gelegen wegvak na de toerit;
- TDI's hebben ook een positief effect op het aantal schokgolven en de ernst daarvan (Taale 2022);
- de reductiefactor is groter dan 1. De TDI heeft dus een positief effect op de capaciteit;
- er dient enigszins terughoudend te worden omgegaan met het combineren van verschillende invloedsfactoren. Deze kunnen niet altijd zondermeer met elkaar worden vermenigvuldigd (zie ook paragraaf 4.7).

Toelichting TDI's

Een TDI is een verkeerslicht op een toerit met als doel de doorstroming op de hoofdrijbaan te verbeteren door de vrije capaciteit zo lang mogelijk te benaderen en te voorkomen dat door het ontstaan van congestie de afrijcapaciteit (gemiddeld rond de 15 % lager dan de vrije capaciteit) maatgevend gaat worden.

Een TDI bereikt bovenstaande door het verkeer op de toerit druppelsgewijs toe te laten op de hoofdrijbaan en daarmee pelotons te voorkomen ten gevolge van de VRI op de kruising met het onderliggend wegennet (OWN). Tevens kan een TDI het verkeer op de toerit doseren door iets minder verkeer toe te laten dan de capaciteit

stroomafwaarts van de toerit toelaat, waardoor per saldo de totale vertraging op hoofdrijbaan en toerit verminderd wordt.

Een TDI meet daarom continu de intensiteit en snelheid op de hoofdrijbaan en schakelt zichzelf in of uit. Daarnaast wordt eveneens gecontroleerd (automatisch of handmatig) of de vertraging op de toerit niet leidt tot te veel filevorming op het OWN.

4.4.6 *Dynamische route informatiepanelen (DRIP's)*

DRIP's kunnen de capaciteit van een netwerk vergroten door het verkeer te spreiden over het netwerk bij (dreigende) overbelasting van trajecten. Hierover zijn geen kwantitatieve gegevens bekend. DRIP's hebben in principe geen effect op de capaciteit van een wegvak of discontinuïteit.

Toelichting DRIP's

Een DRIP (Dynamisch Route-InformatiePaneel) is een informatiepaneel boven of naast de weg, die informatie kan geven aan bestuurders door middel van tekst, afbeeldingen en/of pictogrammen. Hiermee kunnen bestuurders geïnformeerd en/of gestuurd worden. De belangrijkste toepassingen zijn het informeren over filevorming, reistijden en incidenten en het adviseren over alternatieve routes. Hierdoor kunnen bij een (mogelijke) overbelasting van een deel van het netwerk, andere aansluitende delen van het netwerk ingezet worden, waardoor de totale vertraging per saldo afneemt en de (rest-)capaciteit van het netwerk beter wordt benut.

4.4.7 *Snelheidsmaatregelen*

Bij diverse proeven met de toepassing van dynamische maximumsnelheden is er gemiddeld genomen geen invloed op de capaciteit gemeten (Taale 2022). De effecten van de dynamische maximumsnelheden en de omstandigheden waarin ze ingezet werden waren sterk verschillend tussen proeven en veelal locatie specifiek (van -9% tot +5%). Daarbij zijn er ook diverse situaties waarbij snelheidsdeken een negatief effect op de capaciteit hadden. Bij de proef op het traject A12 Bodegraven - Woerden werd wel aangetoond dat in een deel van de gevallen het optreden van een schokgolf file voorkomen kon worden (Rijkswaterstaat 2010), wat een positief effect heeft op de doorstroming.

Toelichting snelheidsmaatregelen

Op trajecten waar er verkeerssignalering aanwezig is, is het mogelijk om de dynamische maximumsnelheden te gebruiken. Dit wordt ook wel aangeduid met de term *snelheidsdeken*. Onder een dynamische maximumsnelheid wordt een maximumsnelheid verstaan die tijdelijk en afwijkend van de permanente maximumsnelheid wordt ingesteld, afhankelijk van actuele verkeers- en omgevingsgerelateerde omstandigheden. De tijdelijk lagere maximumsnelheid wordt aan de weggebruiker gecommuniceerd middels de matrixsignaalgevers van de verkeerssignalering, al dan niet vergezeld van een argumentatiebord, en/of via kantelwalsborden in de berm.

Een tijdelijk verlaagde maximumsnelheid kan toegepast worden bij bijvoorbeeld gevaarlijke weersomstandigheden (gladheid), maar ook om de milieubelasting te beperken of om de doorstroming te bevorderen. Ten behoeve van het bevorderen van de doorstroming zijn er verschillende uitvoeringsvormen (geweest). Bijvoorbeeld een vaste lagere maximumsnelheid tijdens de spitsen, maar ook meer dynamischere aanpassingen onder de noemer van *Dynamax* (dynamische maximumsnelheden).

4.5 Ontwikkelingen in-carsystemen en ITS

Voor de komende jaren wordt nog niet of nauwelijks effect van in-carsystemen en ITS op de capaciteit verwacht. Voor de langere termijn is het effect nog onzeker en kan het zowel een positief als een negatief effect hebben op de capaciteit, afhankelijk van de instellingen en mogelijkheden van de systemen en hun penetratiegraad.

Toelichting ontwikkelingen in-carsystemen en ITS

De automatisering in de automotive branche (in-carsystemen, (Coöperatieve-)ITS) in combinatie met ontwikkelingen in de communicatietechnologie zullen op termijn tot nieuwe transportconcepten leiden, die impact hebben op de capaciteit van de auto(snel)wegen.

De impact van technologische ontwikkelingen op de capaciteit van de hoofdwegen is erg onzeker. De TU Delft heeft een studie voor Rijkswaterstaat gedaan waarbij is gekeken naar de invloed van:

- de mate van automatisering en
- de mate van communicatie/coöperatief rijden.

Het toekomstjaar van deze studie in het kader van de LMS is 2030. Daarbij zijn meerdere scenario's geëvalueerd waarbij de uitkomst op de capaciteit zowel negatief (5% lagere capaciteit bij veilige instellingen) als positief (+10% door treintjes) kan zijn. Deze uitspraken geven vooral een indicatie en range van de omvang van mogelijke impact. Er zijn nog veel onzekerheden omdat:

- de feitelijke techniek en systemen voor zelfrijdende dan wel volledig coöperatief rijdende voertuigen er nog niet is. Met name bij weefvakken is het de vraag of de systemen in staat zijn om daar goed te presteren. Er is nog onvoldoende onderzoek gedaan naar de impact van de systemen, met name bij discontinuïteiten;
- onzeker is welke systeeminstellingen worden gebruikt (bijvoorbeeld de ingestelde afstand tot voorgangers bij Adaptieve Cruise Control (ACC)). Gebruikers hebben de mogelijkheid de systemen naar eigen wens in te stellen, maar ook uit te zetten. ACC wordt bijvoorbeeld nog wel eens uitgezet bij hoge drukte;
- de termijn van invoering van de systemen en daarmee de penetratiegraad nog lastig is te voorspellen.

Voor de komende jaren is de verwachting dat de invloed op de capaciteit van de wegen nog niet of nauwelijks zichtbaar zal zijn. Het is nu bijvoorbeeld nog hoogst onzeker wanneer de volledige zelfrijdende auto zijn intrede doet. De fabrikanten zijn momenteel bezig met de ontwikkeling van deels geautomatiseerde (partial automated) voertuigen, die bijvoorbeeld zelfstandig in files kunnen rijden. De volgende stappen zijn de ontwikkeling van:

- conditional automated: de bestuurder moet de besturing binnen een bepaalde tijd kunnen overnemen;
- highly automated: backup systemen om de auto zonder menselijk ingrijpen tot stilstand te krijgen;
- fully automated: volledig zelfrijdend.

4.6 Incidentele factoren

Naast de invloedsfactoren, die hiervoor zijn beschreven, zijn ook onverwachte tijdelijke invloedsfactoren op de capaciteit mogelijk. Het gaat daarbij om diverse soorten incidenten zoals:

- ongevallen;
- pech;
- afgevalen lading.

De invloed van deze factoren op de capaciteit is sterk afhankelijk van de situatie. Zo is van belang of en welk deel van de rijbaan is geblokkeerd (hoeveel rijstroken zijn nog beschikbaar) en kan afleiding door het incident soms een grote rol spelen (zie ook paragraaf 4.2.4). Omdat dit tijdelijke en incidentele situaties zijn, zullen deze incidentele factoren echter niet maatgevend zijn bij de bepaling van het ontwerp van een autosnelweg.

4.7 Combineren van verschillende invloedsfactoren

In de voorgaande paragrafen staan veel reductiefactoren genoemd. Indien omstandigheden zich gelijktijdig voordoen, dan kunnen deze factoren niet altijd zondermeer met elkaar vermenigvuldigd worden om een totaal effect te berekenen.

Indien zich een combinatie van situaties voordoet, dan kan een inschatting worden gemaakt van het totaal effect door de afzonderlijke factoren te vermenigvuldigen. Het vermenigvuldigen van 2 of 3 factoren is nog acceptabel. Bij het vermenigvuldigen van meer factoren wordt de onzekerheid verhoogd en wordt het risico groter dat de werkelijke capaciteit zal afwijken van de (vooraf) bepaalde capaciteit.

5 Capaciteitswaarden bij Werk in Uitvoering

In dit hoofdstuk worden capaciteitswaarden bij werk in uitvoering (WIU) gegeven. De capaciteitswaarden, die vermeld zijn in de richtlijn 96a van het CROW, zijn hiervan afgeleid. Mochten bepaalde capaciteitswaarden in CROW 96a afwijken van dit handboek, dan prevaleren de capaciteitswaarden uit dit handboek. In dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens ingegaan op:

- capaciteitswaarden bij werk in uitvoering (paragraaf 5.1);
- achtergrond werk in uitvoeringssituaties (paragraaf 5.2);
- invloedsfactoren bij werk in uitvoering (paragraaf 5.3).

5.1 Capaciteitswaarden bij werk in uitvoering

Tabellen 5.1 t/m 5.3 geven de capaciteitswaarden voor verschillende configuraties van werkvakken op autosnelwegen. De vermelde capaciteitswaarden zijn afrijcapaciteiten. Dit verschilt van de overige capaciteitswaarden in dit handboek, waar steeds de vrije capaciteit wordt vermeld (zie paragraaf 2.4 voor een toelichting op het verschil tussen de vrije capaciteit en afrijcapaciteit). Bij werk in uitvoering wordt uitgegaan van de afrijcapaciteit omdat het hier tijdelijke situaties betreft waarbij enige hinder/file verwacht wordt (afhankelijk van aard en type van de werkzaamheden).

De in dit hoofdstuk vermelde capaciteitswaarden gelden voor de volgende omstandigheden:

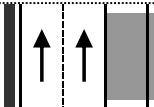
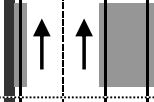
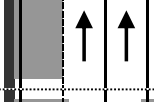
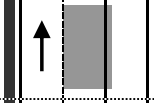
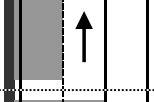
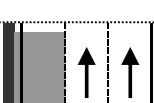
- statische afzettingen langer dan één dag, tenzij bij capaciteitswaarden 'kortdurende statische of dynamische afzetting' is vermeld;
- 15 % vrachtverkeer;
- middelzware tot zware werkzaamheden; vaste afzetting, bij voorkeur barrières, tijdelijke gele markering indien nodig, voldoende voorwaarschuwingen, gebruik van verkeerssignalering of mobiele rijstrooksignalering, et cetera;
- zonder discontinuïteiten in het werkvak, zoals invoegstroken of afzettingen (in het werkvak) van rijstroken;
- de maximumsnelheid is 90 km/h, tenzij de rijstrookbreedtes 90 km/h niet toelaten, zie CROW 96a.

Toelichting kortdurende statische (<= 1 dag) of dynamische afzettingen

Kortdurende statische en dynamische afzettingen zijn bedoeld voor reguliere onderhoudswerkzaamheden en zijn gerelateerd aan de term werkbare uren (WBU). De afscheiding tussen verkeer en werkvak bestaat uit verkeerskegels of bakens en is soms zelfs afwezig. Verkeerssignalering wordt ingezet indien aanwezig. De afrijcapaciteiten zijn lager dan voor statische afzettingen, omdat minder geleiding van het verkeer plaatsvindt, veel afleiding voor bestuurders aanwezig is en geen gewinning kan optreden. De maximumsnelheid is 70 km/h of 90 km/h, afhankelijk van de aanwezigheid van wegwerkers buiten de voertuigen en de afstand tussen de werkzaamheden en het verkeer.

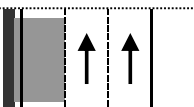
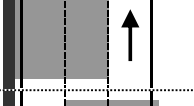
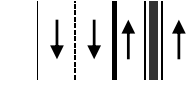
Tabel 5.1

Afrijcapaciteit bij
werk in uitvoering -
rijbaan met twee
rijstroken

configuratie in werkvakken	omschrijving	afrijcapaciteit [mvt/h]
	afzetting vluchtstrook - zonder breedtebeperking, $v = 90$ km/h	3.400 ^{8,10}
	afzetting vluchtstrook - met breedtebeperking: links 2,75 m, rechts 3,00 m $v = 70$ km/h	3.200 ^{8,9}
	afzetting linkerrijstrook met gebruik vluchtstrook - zonder breedtebeperking, $v = 90$ km/h	3.400 ^{3,5,8}
	afzetting linkerrijstrook met gebruik vluchtstrook - gestaffeld rijden. links 1,95 m, rechts 2,85 m $v = 70$ km/h	2.600 ⁶
	- links 2,50 m, rechts 3,00 m, $v = 70$ km/h	3.000 ^{1,3}
	- afzetting rechterrijstrook, $v = 90$ km/h	1.500 ¹
	- idem, kortdurende statisch en dynamische afzetting $v = 70$ of 90 km/h	1.100 ^{3,5}
	- afzetting linkerrijstrook, $v = 90$ km/h	1.500 ¹
	- idem, kortdurende statisch en dynamische afzetting $v = 70$ of 90 km/h	1.200 ^{3,5}
	- afzetting 2 rijstroken met gebruik vluchtstrook $v = 90$ km/h	1.300 ¹
	- idem, kortdurende statisch en dynamische afzetting $v = 70$ of 90 km/h	1.000 ^x

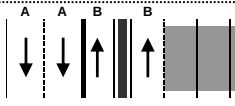
Tabel 5.2

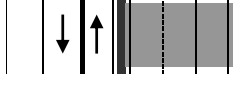
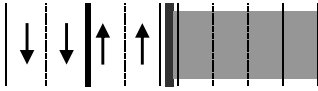
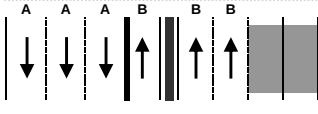
Afrijcapaciteit bij
werk in uitvoering -
rijbaan met drie
rijstroken

configuratie in werkvakken	Omschrijving	afrijcapaciteit [mvt/h]
	afzetting linker rijstrook - zonder breedtebeperking $v = 90$ km/h	3.600 ^{3,4,7}
	afzetting 2 rijstroken met gebruik vluchtstrook - zonder breedtebeperking, $v = 90$ km/h	3.200 ^x
	- afzetting 2 linker rijstroken, $v = 90$ km/h	1.500 ¹
	- idem, kortdurende statisch en dynamische afzetting $v = 70$ of 90 km/h	1.200 ^{3,4}
	- afzetting 2 rechter rijstroken, $v = 90$ km/h	1.500 ¹
	- idem, kortdurende statisch en dynamische afzetting $v = 70$ of 90 km/h	1.100 ^{3,4}

Tabel 5.3

Afrijcapaciteit bij
werk in uitvoering -
systemen

configuratie in werkvakken	omschrijving	afrijcapaciteit [mvt/h]
	3-1 systeem - rijrichting A zonder strooksplitsing, links 3,00 m, rechts 3,25 m, $v = 90$ km/h	3.400 ^{3,4,7}
	- rijrichting B met strooksplitsing, links 3,00 m, rechts 3,25 m, $v = 90$ km/h	3.000 ^{1,7}

	3-0 systeem - rijrichting A met twee rijstroken, links 3,00 m, rechts 3,25 m, $v = 90$ km/h - rijrichting B met één rijstrook 3,25 m, $v = 90$ km/h	3.400 ^{3,4,7} 1.500 ¹
	2-0 systeem - beide richtingen 3,25 m, $v = 90$ km/h	1.500 ¹
	4-0 systeem - gestaffeld rijden links 1,95 m, rechts 2,85 m $v = 70$ km/h - links 2,35 m, rechts 2,85 m, $v = 70$ km/h - links 2,50 m, rechts 3,00 m, $v = 70$ km/h - links 3,00 m, rechts 3,25 m, $v = 90$ km/h	2.600 ⁶ 2.800 ^{5,} 3.000 ¹ 3.400 ^{3,4,7}
	4-2 systeem - rijrichting A zonder strooksplitsing 2,80 m, 2,80 m, 3,25 m, $v = 90$ km/h - rijrichting B met strooksplitsing 3,00 m, 2,80 m en 3,00 m, $v = 90$ km/h	4.500 ^x 4.300 ¹

Geraadpleegde bronnen

- ¹ CIA (2002);
- ² Grontmij (2009);
- ³ Transpute (2005);
- ⁴ Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2006);
- ⁵ Arcadis (2004);
- ⁶ Grontmij (2006);
- ⁷ Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2000);
- ⁸ Arcadis (2013);
- ⁹ Arcadis (2015a);
- ¹⁰ Arcadis (2016);
- ^x geen bron gevonden, afgeleid van andere gevonden capaciteitswaarden.

Noten bij de tabellen

- de capaciteitswaarden van de genoemde situaties kunnen verschillen per locatie door (kleine) afwijkingen in uitvoering en omstandigheden; de vermelde capaciteitswaarden hebben een relatief grote spreiding; het aantal beschikbare metingen is bovendien beperkt en soms beperkt gedocumenteerd;
- de slingers (S-bochten), die toegepast worden bij bepaalde systemen (zie Tabel 5.3), dienen strikt conform de richtlijn 96a van het CROW te worden uitgevoerd; dit voorkomt een lagere capaciteit dan in de voorgaande tabellen vermeld is;
- de capaciteit is uitgedrukt in mvt/h; hierbij is uitgegaan van een percentage vrachtverkeer van 15 %; voor het omrekenen naar capaciteitswaarden bij andere percentages vrachtverkeer zie paragraaf 4.3;
- de vermelde capaciteitswaarden zijn afrijcapaciteiten (zie paragraaf 2.4 voor een toelichting op de termen vrije capaciteit en afrijcapaciteit).

5.2 Achtergrond configuraties werkvakken bij werk in uitvoering

Om werkzaamheden uit te kunnen voeren aan en langs de weg, wordt een weggedeelte geheel of gedeeltelijk voor een bepaalde periode afgesloten. Voor deze

tijdelijke situaties zijn een aantal configuraties (afzettingssystemen) ontwikkeld, die ieder een verschillende invloed op de wegcapaciteit hebben.

Afhankelijk van de aard van de werkzaamheden en de lokale situatie (intensiteiten) wordt een bepaalde afzetting gekozen. In hoofdlijnen kan onderscheid gemaakt worden in:

- dynamische afzetting;
- stationaire afzetting met voertuigkerende barrières;
- stationaire afzetting met geleidebakens of verkeerskegels.

De maximale I/C-verhouding bij afrijcapaciteiten voor filevrije verkeersafwikkeling is in principe 1,0. Om enige marge te hebben, is een toelaatbare I/C-verhouding van 0,95 te hanteren. Genoemde waarden wijken af van de toelaatbare I/C-verhouding voor de vrije capaciteit.

Bij afwezigheid van een gesloten afzetting met voertuigkerende barrières in combinatie met de aanwezigheid van wegwerkers buiten voertuigen, is een snelheidslimiet van 70 km/h vereist. In overige situaties kan, afhankelijk van het dwarsprofiel, een maximumsnelheid van 90 km/h worden toegestaan. Meer informatie over verkeersmaatregelen bij WIU is te vinden op de VKA website van Rijkswaterstaat WVL en in CROW publicatie 96a en 96b.

Capaciteitswaarde afzettingssystemen onzeker

Werkzaamheden hebben een aanzienlijke vermindering van de standaard capaciteitswaarden tot gevolg. Het bepalen van deze vermindering is goed mogelijk, echter met een aanzienlijke onzekerheid (spreiding). De belangrijkste oorzaken hiervoor zijn:

1. het betreft een tijdelijke situatie, waarbij afleiding vaak een grote rol speelt;
2. er zijn veel verschillende configuraties en varianten daarvan mogelijk, waarbij eveneens variatie optreedt in de kwaliteit van de maatregelen, zoals bebording, belijning en de afzetting.

Ad 1.

De situatie bij WIU verschilt veel van een gebruikelijk wegbeeld van een autosnelweg. Andere rijstrookindeling, afwezigheid van de vluchtstrook, smallere rijstroken, smallere redresseerstroken, andere bebording en/of veel afleiding zorgen voor een verzwaring van de rijtaak voor bestuurders. Dit beïnvloedt het rijgedrag en daarmee de capaciteit.

Het werk rondom de weg zorgt voor afleiding. Dit effect is extra groot indien daadwerkelijk (zichtbaar) gewerkt wordt. In paragraaf 4.2.4 is al aangegeven dat afleiding een sterke invloed kan hebben op de capaciteit, afhankelijk van de omstandigheden tot 50 %.

Ad 2.

Binnen vergelijkbare situaties met WIU kunnen grote verschillen optreden in capaciteit. In de configuraties van werkvakken zijn veel variaties mogelijk. Daarnaast spelen de daadwerkelijke uitvoering en het onderhoud van de verkeersmaatregelen een rol.

Door de vele invloedsfactoren en omstandigheden, is een nauwkeurige bepaling van de capaciteit van werkvakken nagenoeg onmogelijk. Er dient rekening gehouden te worden met een spreiding in de capaciteitswaarden.

In ieder geval dienen de werkvakken conform de richtlijnen te worden ingericht, waarbij veel zorg besteed moet worden aan een nette uitvoering en onderhoud aan de verkeersmaatregelen.

5.3 Invloedsfactoren bij werk in uitvoering

De invloedsfactoren, die vermeld zijn in hoofdstuk 4, kunnen ook de capaciteit van werkvakken beïnvloeden. In deze paragraaf wordt kort ingegaan op een aantal belangrijke invloedsfactoren die in het bijzonder gelden bij wegwerkzaamheden:

- afleiding door de werkzaamheden;
- tijdelijke aard van de situatie;
- lengte van de afzetting;
- versmalde rijstroken;
- maximumsnelheid;
- verkeerssamenstelling;
- overgang van en naar het werkvak;
- discontinuïteiten in het werkvak;
- regen- en lichtcondities.

Bovengenoemde factoren beïnvloeden in zekere mate de gereden snelheid, het volgedrag en/of het rijstrookwisselgedrag en daarmee de capaciteit.

Afleiding door de werkzaamheden

Tijdens een periode van wegwerkzaamheden kunnen ook fasen bestaan, waarbij niet langs de weg gewerkt wordt. Al-Kaisy en Hall (2003) vinden een verschil tussen situaties waarbij wel en waarbij niet aan de weg wordt gewerkt. In situaties waarbij geen (zichtbare) werkzaamheden werden uitgevoerd, was de capaciteit ten opzichte van situaties met werkzaamheden hoger (orde grootte 5 tot 10 %).

Het afschermen van werkzaamheden voor de weggebruikers kan een positieve invloed op de capaciteit hebben, doordat weggebruikers minder worden afgeleid en meer aandacht hebben voor de rijtaak. Ook bij de capaciteitsmetingen van het 4-0 systeem op de A28 bij Zwolle, is gebleken dat het afschermen van de werkzaamheden een positieve invloed heeft op de doorstroming (Arcadis 2004).

Tijdelijke aard van de situatie

De situatie tijdens WIU is van tijdelijke aard en zal relatief kort duren. Indien een tijdelijke situatie gedurende langere tijd van toepassing is, zullen bestuurders meer vertrouwd raken met de situatie en minder onzeker rijgedrag tonen. Dit zal doorgaans een positieve invloed op de capaciteit hebben.

Smalle rijstroken

Een versmalling van het dwarsprofiel heeft vanuit meerdere invalshoeken direct of indirect een negatieve invloed op de capaciteit:

- verzwaring rijtaak (Hogema 2005; Godley, Triggs en Fildes 2004);
- lagere vrije snelheden (Chitturi en Benekohal 2005);
- verminderd aantal inhaalmanoeuvres (Hogema en Brouwer 1999);
- hoger percentage onderbroken inhaalmanoeuvres (ter Kuile 2006);
- verminderde benutting linkerrijstrook (ter Kuile 2006);
- grotere volgtijden (Gunay 2007).

De capaciteit zal afnemen naarmate de rijstroken smaller worden. Dit treedt op in combinatie met een versmald dwarsprofiel (beperkte redresseerruimte en/of obstakelafstand). Een beperkte versmalling ten opzichte van de standaardmaten zal een beperkte invloed hebben op de capaciteit. Naarmate de rijstroken smaller

worden, wordt het effect op de capaciteit groter. In de tabellen 5.1 en 5.3 is het effect van smalle rijstroken terug te vinden. Ook is het simulatieprogramma FOSIM gekalibreerd om de effecten van smalle rijstroken mee te nemen (Sweco 2019).

Lengte van afzetting

Vooraf bij smalle rijstroken is de lengte van de afzetting van invloed op de capaciteit. Hogema en Brouwer (1999) vonden dat bij een versmald wegprofiel minder inhaalbewegingen plaatsvinden. Hierdoor worden eventuele gaten tussen pelotons (als gevolg van snelheidsverschillen) minder snel opgevuld, waardoor de voertuigdichtheid en daarmee de capaciteit omlaag gaan.

Hetzelfde principe geldt bij langere enkele rijstroken, waar snelheidsverschillen voor gaten in de verkeersstroom en pelotonvorming zorgen met een lagere capaciteit tot gevolg.

Maximumsnelheid

De maximumsnelheid kan een sterke invloed hebben op de capaciteit. Volgens het basisdiagram (zie Afbeelding 2.1) wordt de maximale capaciteit bereikt bij een snelheid van 90 à 100 km/h. Een maximumsnelheid van 90 km/h zal in principe niet leiden tot een reductie van de capaciteit. Een snelheidsverlaging naar 70 km/h kan wel leiden tot een vermindering van de capaciteit. De capaciteitsvermindering bij een snelheid van 70 km/h wordt echter vooral veroorzaakt in combinatie met versmalde rijstroken. Weggebruikers die hun snelheid nog ver onder de maximumsnelheid laten zakken kunnen daarbij nog voor een aanvullende capaciteitsreductie zorgen (Benekohal et al. 2003).

Verkeerssamenstelling

Omdat afzettingen veelal gepaard gaan met versmalde rijstroken, leidt een groot aandeel vrachtverkeer in deze situaties tot een extra verzwaring van de rijtaak (Hogema 2005). Dit heeft vervolgens invloed op de gereden snelheid en daarmee op de capaciteit.

De omrekenfactoren om de capaciteit om te rekenen naar andere percentages vrachtverkeer zijn opgenomen in paragraaf 4.3.

Overgang van en naar het werkvak

De capaciteitswaarden vermeld in dit hoofdstuk hebben betrekking op het werkvak. De overgang van de oorspronkelijke rijbaan naar het tijdelijke werkvak kan capaciteitsbeperkend werken en zelfs maatgevend zijn voor de capaciteit. Dit geldt met name voor de zogenaamde 'slingers' (S-bochten) die de verbinding vormen tussen de oorspronkelijke rijbaan en een verschoven tijdelijke rijbaan. Deze 'slinger' (S-bochten) dienen conform de richtlijnen te worden ontworpen en uitgevoerd om te voorkomen dat deze capaciteitsbeperking en verkeersonveiligheid optreden.

Discontinuïteiten

De capaciteitswaarden zoals vermeld in dit hoofdstuk hebben betrekking op een werkvak zonder discontinuïteiten, zoals invoegstroken, weefvakken of afzettingen van rijstroken die normaal in het werkvak beschikbaar zijn. De genoemde capaciteitswaarden kunnen sterk negatief beïnvloed worden indien discontinuïteiten op het traject voorkomen. Hiervan zijn geen kwantitatieve gegevens bekend. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken of bijvoorbeeld aansluitingen kunnen worden afgesloten tijdens de werkzaamheden.

Regen en lichtcondities

Voor regen kunnen bij WIU dezelfde reductiefactoren worden gebruikt als voor niet WIU situaties. Deze reductiefactoren zijn vermeld in paragraaf 4.2.1. Dit wordt bevestigd door Al-Kaisy en Hall (2003) die vergelijkbare reductiefactoren voorstellen voor regen bij WIU. Hoewel niet helemaal gelijk wordt ook wel de term neerslag gebruikt.

Werkvakken in Nederland moeten verplicht van verlichting zijn voorzien. Indien geen reguliere verlichting aanwezig, zal tijdelijke verlichting moeten worden geïnstalleerd.

Mocht desondanks toch capaciteitswaarden voor wegvakken zonder verlichting, nodig zijn, dan kan dezelfde reductiefactor worden gebruikt als voor duisternis zonder werkzaamheden, zoals vermeld in paragraaf 4.2.3. Dit wordt bevestigd door Al-Kaisy en Hall (2003).

Literatuur

- AGV, *Evaluatie plusstrook A27 en 2^e Lekbrug A2*, 2000.
- Al-Kaisy, A.F. en Hall, F.L., *Guidelines for Estimating Capacity at Freeway Reconstruction Zones*, Journal of Transportation Engineering, Volume 129, Issue 5, pp 572-577, 2003.
- Arane, *Onderzoek Verkeersafwikkeling en capaciteitswaarden discontinuïteiten Autosnelwegen*, 2007.
- Arcadis, *Capaciteitsmeting 4-0 systeem Zwolle*, 2004.
- Arcadis, *Capaciteitsmetingen Herziening Handboek CIA*, 2013.
- Arcadis, *Capaciteitsmetingen 2014*, 2015a.
- Arcadis, *Capaciteitsmetingen 2015*, 2015b.
- Arcadis, *Capaciteitsmetingen 2016*, 2016
- Arcadis, *Factsheets Capaciteitsmetingen 2017*, 2017
- Arcadis, *Capaciteitsmetingen 2018*, 2019
- Arcadis, *Capaciteitsmetingen 2019*, 2019b.
- Arcadis, *Resultaten capaciteitsmeting N322*, 2019c
- AVV, *Leidraad model- en evaluatiestudies benuttingsmaatregelen*, 2002.
- Benekohal, R.F., Kaja-Mohideen, AZ. & Chitturi, MV., *Evaluation of Construction Work Zone Operational Issues: Capacity, Queue and Delay*, 2003.
- Brilon, W., Geistefeldt, J. en Regler, M., *Reliability of freeway traffic flow: a stochastic concept of capacity*, Proceedings of the 16th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp 125 – 144, College Park, Maryland, 2005.
- Chitturi, M.V. en Benekohal, R.F., *Effect of Lane Width on Speed of Cars and Heavy Vehicles in Work Zones*, Transportation Research Record, no 1920, pp 41-48, 2005.
- CROW, *Handboek Wegontwerp 2013; Basiscriteria*, 2013a.
- CROW, *Handboek Wegontwerp 2013; Regionale Stroomwegen*, 2013b.
- Fosim 5.1 *Gebruikershandleiding*, Laboratorium Voor Verkeerskunde van de Technische Universiteit Delft, in opdracht van de Adviesdienst Verkeer en Vervoer van Rijkswaterstaat, 2006.
- Godley, S.T., Triggs, T.J., en B.N. Fildes, *Perceptual lane width, wide perceptual road centre markings and driving speeds*, Ergonomics, 47(3), pp 237-256, 2004.

Goeverden, C.D. van, Botma, H. en Bovy, P.H.L., *Determining Impact of Road Lighting on Motorway Capacity*, 1998.

Goudappel Coffeng en Arcadis, *Effecten en kosten van bereikbaarheidsmaatregelen*, 2002.

Goudappel Coffeng, *Evaluatie inhaalverbod vrachtverkeer in Limburg en Utrecht*, 2006.

Grontmij, *Capaciteitsmeting 4-0 systeem – Slingertracé Weert (A2)*, 2006.

Grontmij, *Capaciteitsmetingen autosnelwegen - Samenvatting van de resultaten voor 75 locaties*, 2009.

Grontmij, *Analyse metingen capaciteitswaarden 2005 – 2015; Analyse capaciteitsmetingen ten behoeve van Handboek CIA v4*, 2015.

Grontmij, *Differentiatie Verkeersveiligheid Spitsstroken*, 2015b

Gunay, B., *Car following theory with lateral discomfort*, Transportation Research Part B: Methodological 41(7), pp 722– 735, 2007.

Harms, H., *Oorzaken van verslechterde doorstroming bij 80 km-zones*, afstudeerscriptie Technische Universiteit Delft, 2006.

Hogema, J. A. en Brouwer, R.F.T., *Inschatting van gedragseffecten van dynamische rijbaanindelingen*, Soesterberg: TNO Technische Menskunde, 1999.

Hogema, J.H., *Wijzer op Weg rij simulatorstudie*, Soesterberg: TNO Technische Menskunde, 2005.

Hoogendoorn, R.G., *State-of-the-Art Driving Theory and Modeling in case of Adverse Conditions*, 2010.

Kuile, R.J. ter, *Rijgedrag en verkeerafwikkeling bij werk in uitvoering met versmalde rijstroken*, 2006.

Minderhoud, M.M., Botma, H. en Bovy, P.H.L., *An assessment of roadway capacity estimation methods*, TU Delft, 1996.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Rapportage Contraflow – Uitvoering groot onderhoud op autosnelwegen met 2 rijbanen en 2 rijstroken*, 2000.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Capaciteit bij wiu - Onderzoek naar capaciteitswaarden bij werken A12 kp. Oudenrijn – De Meern*, 2006.

Rijkswaterstaat, *CIA (Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen)*, Handboek versie 2, 2002.

Rijkswaterstaat, *NOA (Nieuwe Ontwerprichtlijn Autosnelwegen)*, Handboek versie 1, 2007.

Rijkswaterstaat, *Dynamische Maximumsnelheden - Evaluatie praktijkproeven*, 2010

Rijkswaterstaat, ROA (*Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen*), 2014.

RVV (*Reglement Verkeersregels en Verkeerstekens*), 1990.

Snelder, M., B. Immers, I. Wilmink, *De begrippen betrouwbaarheid en robuustheid nader verklaard*, 2004.

Snelder, M., M. Muller, J.M. Schrijver, *Begrippenkader en indicatoren voor robuustheid*, 2009.

Sweco, *Kalibratie FOSIM; Rapportage onderzoeksopzet en resultaten*, 2018

Sweco, *Kalibratie FOSIM vervolg; Kalibratie wegwerkzaamheden en spitsstroken*, 2019

Sweco, *Capaciteitsonderzoek 2021 – 2024; Rapportage capaciteitsmetingen 2021, 2022*

Taale, H, *Effecten van benutting in Nederland – Een overzicht van 270 praktijkevaluaties; versie 5.1*, TrafficQuest, 2022

Toorenburg, J.A.C. van, *Praktijkwaarden voor de Capaciteit*, Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde, 1986.

Transportation Research Board (TRB), *Highway Capacity Manual (HCM)*, 2000

Transpute, *Capaciteitswaarden WIU – incl. capaciteitsruimtekaart Utrecht*, 2005.

Transpute, *Ontvlechting; Analyse en advies m.b.t. ontvlechting op het hoofdwegennet*, 2012.

Witteveen+Bos, *Capaciteitsonderzoek Rijkswegen 2019-2022; Eindrapportage Capaciteitsonderzoek Rijkswegen 2019*, 2020

Wu, Ning and Hesham Rakha, *Derivation of the Van Aerde Traffic Stream Model from Tandem-Queueing Theory*, 2009

Overige literatuur

Niet direct gebruikt voor dit handboek, wel voor eerdere versies.

Boekholt, B.J., Botma, H., Minderhoud, M.M, en Muller, Th.H.J., *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen - Deelrapport 2: Capaciteitsbegrippen*, TU Delft, 1998.

Capaciteit op Convergentiepunten; meting van de wegcapaciteit ter hoogte van een dertiental convergentiepunten, Transpute, 1993.

Capwerk: Capaciteit rijbanen; Literatuuronderzoek en synthese, Goudappel Coffeng, 1997.

Dijker, T. en Minderhoud, M.M., *CIA-2: Deelonderzoek CAPWEEF – Fase 2; Het bepalen van de capaciteit van asymmetrische weefvakken met simulatie (incl. aanvulling)*, TU Delft, 2001.

Goeverden, C.D. van en Botma, H., *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen - Deelrapport 4a: Verlichting*, TU Delft, 1998a.

Goeverden, C.D. van en Botma, H., *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen - Deelrapport 4a: Verlichting A50*, TU Delft, 1998b.

Goeverden, C.D. van en Botma, H., *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen - Deelrapport 4b: Verlichting A12*, TU Delft, 1998c.

Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2000.

Meting van het effect van regen op de wegcapaciteit bij de wegverhardingen 'Zeer Open Asfaltbeton' en 'Dicht Asfaltbeton', Transpute, 1994.

Minderhoud, M.M. en Papendrecht, J.H., *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen - Deelrapport 1: Literatuurstudie*, TU Delft, 1998.

Smulders, S.A., *Control of Freeway Traffic Flow*, dissertatie TU-Twente, 1989.

Vermijs, R.G.M.M., *Capaciteitswaarden Infrastructuur Autosnelwegen - Deelrapport 3: Weefvakken*, TU Delft, 1998.

Wachttijdkenmerken voor hoofdwegen, Transpute, 1989.

Wachttijdkenmerken voor hoofdwegen - Grafieken, Transpute, 1989.

Bijlage A Begrippenlijst

begrip	definitie
aansluiting	ongelijkvloers kruispunt van een stroomweg en een niet-autosnelweg, waartussen uitwisseling mogelijk is.
afrijcapaciteit	capaciteit voor een situatie met congestie.
alignement	horizontaal en/of verticaal verloop van een weg, spoorweg of waterweg.
autosnelweg	weg met gescheiden hoofdbanen, waarvan het gebruik slechts is toegestaan voor bestuurders van motorvoertuigen die harder kunnen en mogen rijden dan 80 km/h, met uitsluitend ongelijkvloerse kruispunten en aangeduid met bord g1 (RVV 1990).
baan	gebied op de weg, in lengterichting begrensd door een beginraai en een eindraai, en in dwarsrichting begrensd door twee opeenvolgende overgangen verhard/onverhard of door een overgang verhard/onverhard en een weggrens.
bergingszone	het deel van de verkeersbaan en/of de wegberm dat naast de buitenste strook met de functie rijden ligt en dat ruimte biedt aan gestrande voertuigen wanneer een strook met de functie vluchten niet aanwezig is.
boogstraal	de straal van de kromtecirkel die het verloop van een weg, spoorweg of waterweg in het horizontale of verticale vlak beschrijft.
capaciteit	capaciteit is het maximaal aantal voertuigen, omgerekend per uur, waarvan in redelijkheid kan worden aangenomen, dat ze een punt of uniform segment van een strook of een rijbaan kunnen passeren gedurende een bepaalde tijdsperiode onder de heersende weg-, verkeers-, en beheercondities. Als in dit handboek over capaciteit wordt gesproken dan wordt in principe de vrije capaciteit bedoeld.
capaciteitsverdeling	statistische verdeling van de momentane capaciteit op één locatie, gezien over langere tijd.
convergentiepunt	punt of gebied waar twee verkeersstromen met dezelfde rijrichting al dan niet verspreid over meerdere rijbanen onder een kleine hoek samenkomen en overgaan in minder rijbanen dan wel minder rijstroken.
divergentiepunt	punt of gebied waar verkeersstromen met dezelfde rijrichting op een rijbaan onder een kleine hoek uit elkaar gaan en zich verspreiden over twee rijbanen dan wel meer rijstroken.
dwarsprofiel	verticale doorsnede loodrecht op de as van de weg, spoorweg of waterweg.
extra strook	een uitbreiding van het aantal stroken binnen de verkeersbaan. Deze strook wordt aan de linkerzijde van de verkeersbaan toegevoegd.
hoofdbaan	rijbaan, bestemd voor doorgaand snelverkeer en waarop eventueel ook langzaam verkeer wordt toegelaten.
intensiteit	aantal voertuigen per uur dat een gegeven dwarsdoorsnede passeert.
invoeging	convergentiepunt waar een rijbaan door middel van een of meer invoegstroken wordt ingevoerd in de doorgaande rijbaan.
invoegstrook	rijstrook van beperkte lengte ter plaatse van een convergentiepunt, die grenst aan een doorgaande rijstrook van een rijbaan en in rijrichting gezien begint bij de spitse punt van het puntstuk. Een invoegstrook is bedoeld om verkeer afkomstig van een toeleidende rijbaan in de gelegenheid te stellen zijn snelheid te verhogen alvorens de doorgaande rijstrook op te rijden. Wanneer de toeleidende rijbaan meer dan één rijstrook heeft, bestaat de invoegstrook slechts uit een taper.
I/C-verhouding	verhouding tussen intensiteit en capaciteit
knooppunt	ongelijkvloers kruispunt van stroomwegen, waartussen ongelijkvloerse uitwisseling mogelijk is.
mediaan	

begrip	definitie
	de waarde die in 50 % van de gevallen overschreden wordt (en dus ook in 50 % onderschreden). Omdat de capaciteitsverdeling onder goede omstandigheden niet erg blijkt af te wijken van een symmetrische verdeling, is de mediaan vrijwel gelijk aan het gemiddelde.
middenberm	wegberm tussen twee hoofdbanen met tegengestelde rijrichtingen.
obstakelvrije zone	gebied langs de rijbaan waarin geen obstakels mogen voorkomen.
pae-factor	personenauto-equivalent is een getal dat aangeeft hoeveel ruimte een voertuig inneemt in vergelijking met een personenauto.
parallelbaan	rangeerbaan die zich uitstrekt over twee of meer knooppunten en/of aansluitingen.
puntstuk	wegmarkering ter aanduiding van een convergentiepunt of divergentiepunt, uitgevoerd als vlak.
rangeerbaan	een variant van een weefvak waarop het verkeer vanaf de toerit en het verkeer vanaf de hoofdrijbaan van strook kunnen wisselen. Aan het eind van de rangeerbaan kan het verkeer vanaf de toerit de hoofdrijbaan op, of kan het verkeer (van de hoofdrijbaan) de snelweg af. Hierdoor ondervindt het verkeer in de doorgaande richting geen overlast van de weefbewegingen.
redresseerstrook	verharde strook van beperkte breedte, gelegen naast de rijbaan, en bedoeld om weggebruikers gelegenheid te geven hun koers te corrigeren.
rijbaan	aaneengesloten deel van de verkeersbaan dat bestemd is voor rijdend verkeer en dat begrensd wordt door twee opeenvolgende begrenzingen in de vorm van kantstreep, overgang verharding of overgang verhard/onverhard.
rijstrook	strook van de rijbaan die voldoende breed is voor het verkeer van één rij voertuigen.
samenvoeging	convergentiepunt van twee rijbanen met ongeveer dezelfde ontwerpsnelheid; van elk van de samenkomende rijbanen loopt ten minste één rijstrook door.
splitsing	divergentiepunt waar een rijbaan overgaat in twee rijbanen met ongeveer dezelfde ontwerpsnelheid; beide rijbanen bevatten ten minste één rijstrook van de oorspronkelijke rijbaan.
uitvoeging	divergentiepunt waar een rijbaan door middel van een of meer uitrijstroken wordt afgeleid van de doorgaande rijbaan.
verbindingsweg	rijbaan, niet zijnde een hoofdbaan, rangeerbaan of parallelbaan, die in een ongelijkvloerse kruising van autosnelwegen de verbinding vormt tussen twee rijbanen.
verkeersaanbod	aanbod van verkeer als op de beschouwde locatie en in de nabije omgeving geen capaciteitsbeperkingen zouden zijn.
vetergang	van de rechte lijn afwijkende koers van voertuigen ten gevolge van storende krachten en koerscorrecties.
vluchtstrook	verharde strook langs een rijbaan van een autosnelweg, waarop uitsluitend in bijzondere gevallen of in geval van nood mag worden gereden of gestopt.
vluchtzone	het gebied naast de rechter strook met de functie rijden dat bestaat uit de kantstreep, de strook met de functie vluchten en de vluchtruimte.
vrije capaciteit	capaciteit voor een situatie met vrije afwikkeling.
weefstrook	rijstrook die behoort tot die rijstroken in een weefvak die minimaal vereist zijn om te kunnen weven.
weefvak	rijbaangedeelte van beperkte lengte tussen convergentiepunt en divergentiepunt, dat bedoeld is om te weven.
weg	

begrip	definitie
	gebaand gedeelte van het terrein ten behoeve van het verkeer te land, in lengte- en dwarsrichting begrensd door weggrenzen.
zichtlengte	1) afstand waarover de bestuurder het direct voor hem liggende deel van de weg kan overzien. 2) afstand waarop de bestuurder een voorwerp kan zien.

Bijlage B Verwerking capaciteitsmetingen naar nieuwe standaard capaciteitswaarden

De onderstaande capaciteitswaarden, afkomstig uit Arcadis (2016, 2017), Witteveen+Bos 2020 en Sweco 2023, zijn gebruikt als basis voor de capaciteiten zoals vermeld in Tabel 3.2. Er zijn locaties gekozen met een dwarsprofiel, die zo goed mogelijk voldoen aan de standaardsituatie conform de richtlijnen voor autosnelwegen. Andere invloedsfactoren zijn eveneens niet aanwezig. De gemeten capaciteitswaarden zijn omgerekend naar een capaciteitswaarde bij 15 % vrachtverkeer. Hiervoor zijn de factoren uit Tabel 4.3 gebruikt met een pae-factor van 2,0. Uit de onderzoeken zijn de waarden zonder neerslag (waar bekend), over de totale periode van twee jaar en met een aggregatieniveau van vijf minuten en de product-limietmethode gebruikt (in enkele gevallen is op basis van expert-judgement afgeweken van de product-limietmethode).

2 rijstroken

Voor deze nieuwe versie van het Handboek CIA is aanvullend en gedetailleerd onderzoek gedaan op naar de gemeten capaciteitswaarden. De aanleiding voor het onderzoek is geweest, de grote variatie in capaciteit over een ruime periode op éénzelfde locatie. Uit het onderzoek is ook naar voren gekomen, dat er locaties met een vrij hoge capaciteit in periode 2017 – 2019 meegenomen zijn met een relatief sterke invloed op de gemiddelde capaciteit. Recente metingen geven een wat lagere capaciteit. In de analyse is bovendien geconstateerd, dat de percentages vrachtverkeer uit Inweva op bepaalde locaties relatief sterk variëren per jaar, mogelijk door een verandering van methodiek (meting in plaats van modelmatige inschatting). Het percentage vrachtverkeer heeft invloed bij correctie van de capaciteit naar de capaciteit bij 15% vrachtverkeer.

Verder is in de filebeelden te zien, dat metingen op locaties steeds meer worden beïnvloed door terugslag stroomafwaarts en andere verstoringen. Door toenemende drukte op het wegennet zijn de snelheden en dichtheden op wegvakken gewijzigd. Ook is er een absolute toename van het aantal vrachtwagens, maar door een toename in het aantal personenauto's blijft het percentage vracht gelijk. Dit alles leidt tot een gemeten lagere capaciteit op verschillende locaties.

Aan de andere kant zijn er ook wegvakken gevonden waar weinig file optreedt, maar ruim 4000 mvt/uur wordt gemeten. Zuivere capaciteitsmetingen zijn er hierdoor steeds minder mogelijk.

In de onderstaande tabel zijn de locaties opgenomen waarvan capaciteiten plausibel zijn bevonden na aanleiding van het aanvullende onderzoek.

naam locatie	Type locatie	gemeten capaciteit	bij percentage vrachtverkeer	capaciteit bij 15% vrachtverkeer
A28 Amersfoort-Utrecht	Toerit op 2 stroken	4644	4,00%	4.200
A1 Hengelo-Amersfoort	Toerit op 2 stroken	4059	11,50%	3.935
A20 Gouda-Rotterdam	Toerit op 2 stroken	4512	5,00%	4.120
A1 Apeldoorn-Hengelo t.h.v. Deventer	Afvallende rijstrook 3>2	4156	12,00%	4.030
A12 Utrecht-Arnhem afrit Bunnik	Afvallende rijstrook 3>2	4347	9,00%	4.120
A20 Li Moordrecht (2017)	Toerit op 2 stroken	4308	10%	4102
A4 Re Zoeterwoude (2017)	Afvallende rijstrook 3>2	4440	10%	4247
A15 Nijmegen - Rotterdam, bij Sliedrecht (2023)	Toerit op 2 stroken	3842	15%	3876
Gemiddelde		4.289		4.079

Waarde Handboek CIA v4: 4.300 mvt/h
Nieuwe waarde Handboek CIA: 4.100 mvt/h

3 rijstroken

naam locatie	Type locatie	gemeten capaciteit	bij percentage vrachtverkeer	capaciteit bij 15% vrachtverkeer
A4 Rechts Burgerveen	Toerit op 3 stroken	6.408	9,0%	6.074
A2 Links Zaltbommel	Toerit op 3 stroken	6.384	12,0%	6.189
A16 Links Klaverpolder	Toerit op 3 stroken	6.372	14,0%	6.339
A12 Links Zoetermeer-Centrum	Einde spitsstrook links	6.744		6.231
Gemiddelde		6.477		6.208

Waarde Handboek CIA v4: 6.200 mvt/h
Nieuwe waarde Handboek CIA: 6.200 mvt/h (ongewijzigd)

4 rijstroken

naam locatie	Type locatie	gemeten capaciteit (100 hoogste)	bij percentage vrachtverkeer	capaciteit bij 15% vrachtverkeer
A12 Links Houten-Oost	Toerit op 4 rijstroken	8.567	9,0%	8.083
A12 Rechts Bodegraven	Toerit op 4 rijstroken	8.520	12,0%	8.250
A10 Links A'dam Oud-Zuid	Toerit op 4 rijstroken	9.024	6,0%	8.330
Gemiddelde		8.772		8.221

In deze versie van het Handboek CIA is de capaciteit van 4 rijstroken voor het eerst gemeten onder structurele file-omstandigheden. De uitkomsten zijn vergelijkbaar met de eerdere expert-judgement op basis van locaties zonder structurele congestie.

Waarde Handboek CIA v4: 8.200 mvt/h
Nieuwe waarde Handboek CIA: 8.200 mvt/h (ongewijzigd)

5 rijstroken

Voor situaties met 5 rijstroken zijn er de afgelopen jaren geen nieuwe metingen uitgevoerd. Onderstaande situaties zijn gemeten voor Handboek CIA v4.

naam locatie	Type locatie	gemeten capaciteit (100 hoogste)	bij percentage vrachtverkeer	capaciteit bij 15% vrachtverkeer
A2 HRL Utrecht > Amsterdam	5 rijstroken	10994	8,0%	10.325
A2 HRL Utrecht > Amsterdam	5 rijstroken met trajectcontrole	11456	8,0%	10.759
A4 HRL Burgerveen - Kp. De Hoek	5 rijstroken	11794	5,0%	10.768
Gemiddelde		11.415		10.617

De capaciteitswaarden bij 5 rijstroken zijn gemeten bij omstandigheden zonder file en met een afwijkende methode. Daarom is bij het bepalen van de te hanteren

waarde voor het CIA op basis van expert-judgement de gemiddelde waarde naar beneden afgerond. De trend, dat bij toenemende aantal rijstroken de capaciteit per rijstrook afneemt, wordt dan beter aangehouden.

Waarde Handboek CIA v4: 10.000 mvt/h

Spitsstroken

De onderstaande tabel geeft een overzicht van beschikbare metingen bij spitsstroken (Arcadis 2015b en Sweco 2018).

naam locatie	Type locatie	gemeten capaciteit (99,9 ^e percentiel)	Evt. correctie expert- judgement	bij percentage vrachtverkeer	capaciteit bij 15% vrachtverkeer
A1 HRL Deventer - Beekbergen	2 rijstroken + spitsstrook links (3.0-3,1m)	6.060		20%	6.323
A1 HRR Beekbergen - Deventer	2 rijstroken + spitsstrook links (3.0-3,1m)	5.920		16%	5.971
A12 HRL A12 HRL Oudenhorst - Maarsbergen	2 rijstroken + spitsstrook links (3.0-3,1m)	6.600	6.800	8%	6.209
A12 HRR Veenendaal - Wageningen	2 rijstroken + spitsstrook links (3.0-3,1m)	6.204	6.204	5%	5.880
A12 HRR Bleiswijk - Zevenhuizen	2 rijstroken + spitsstrook links (3.0-3,1m)	6.432	6.600	5%	6.083
A1 HRL Twello - Beekbergen	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking) (2,50-2,75m)	5.988	6.150	5%	5.936
A1 HRR Twello - Deventer-Oost	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking) (2,50-2,75m)	6.144		9%	5.877
A28 HRL Zwolle-kp. Hattemerbroek	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking 2m en 80km/h) (2,50-2,75m)	5.604		16%	5.653
A28 HRR kp. Hattemerbroek - Zwolle	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking 2m en 80km/h) (2,50-2,75m)	5.960		16%	6.012
A12 HRL Zoetermeer - Zoetermeer Centrum	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking) (2,50-2,75m)	5.736	5.900	13%	5.541
A12 HRL Bleiswijk - Zevenhuizen	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking) (2,50-2,75m)	6.216	6.400	9%	5.955
A12 HRL Oudenhorst - Maarsbergen	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking) (2,50-2,75m)	6.600	6.800	8%	6.209
A12 HRL Veenendaal-West - Oudenhorst	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking) (2,50-2,75m)	6.768	6.850	7%	6.254
A12 HRR Bleiswijk - Zevenhuizen	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking) (2,50-2,75m)	6.432	6.600	5%	6.083
A12 HRR Driebergen - Maarn	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking) (2,50-2,75m)	6.852	6.950	6%	6.285
A12 HRR - Maarsbergen - Veenendaal-West	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking) (2,50-2,75m)	5.964	6.150	4%	5.615
A1 HRL Twello - Beekbergen	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking) (2,50-2,75m)	5.988	6.150	5%	5.936
A1 HRR Twello - Deventer-Oost	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking) (2,50-2,75m)	6.144		9%	5.877

naam locatie	Type locatie	gemeten capaciteit (99,9 ^e percentiel)	Evt. correctie expert- judgement	bij percentage vrachtverkeer	capaciteit bij 15% vrachtverkeer
A27 HRL Houten- Everdingen	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking) (2,50-2,75m)	6.264		11%	5.937
A28 HRR Zwolle-Zuid – Ommen	2 rijstroken + spitsstrook links (breedtebeperking) (2,50-2,75m)	6.060		10%	5.955
A1 HRL Eemnes	2 rijstroken + spitsstrook rechts (3,35m)	6.500		7%	6.048
A1 HRL Bussum – Eemnes	2 rijstroken + spitsstrook rechts (3,35m)	6.120		9 %	5.801
A1 HRR Eemnes – Bussum	2 rijstroken + spitsstrook rechts (3,35m)	5.784		8 %	5.432
A27 HRR Everdingen – Houten	2 rijstroken + spitsstrook rechts (3,35m)	6.540		13 %	6.426
A7 HRR Zaandam – Purmerend-Zuid	2 rijstroken + spitsstrook rechts (3,35m)	6.408		9 %	6.074
A9 HRR Badhoevedorp – Raasdorp	2 rijstroken + spitsstrook rechts (3,35m)	6.288		3 %	5.632
2 rijstroken + spitsstrook links (3,10 m)		6.153	6.325		6.033
2 rijstroken + spitsstrook links (2,50-2,75 m)		6.186	6.397		5.929
2 rijstroken + spitsstrook rechts		6.048	6.137		5.902

De capaciteitswaarden bij spitsstroken zijn gemeten bij omstandigheden zonder file en met een afwijkende methode. Daarom is bij het bepalen van de te hanteren waarde voor het CIA op basis van expert-judgement afgeweken van de gemiddelde waarde. Hierbij is onder andere aan de hand van geplotte basisdiagrammen bepaald of de capaciteit op de spitsstroken voldoende werd benaderd en of het gebruikte 99,9^e percentiel inderdaad rond de "piek" van het basisdiagram zat. Bij een deel van de spitsstroken is aan de hand van het basisdiagram een aangepaste capaciteitswaarde bepaald. De bepaalde gemiddelde waarde over alle metingen is vervolgens o.b.v. expert judgement en de beoordeling van de individuele meetwaarden aangepast tot de onderstaande standaardwaarde. Daarbij is onder andere rekening gehouden met het feit dat de gebruikte methode met het 99,9^e percentiel veelal een ondergrens/onderschatting geeft.

De toevoeging van nieuwe metingen heeft geleid tot de onderstaande (nieuwe) capaciteitswaarden voor spitsstroken:

Spitsstrook type	Nieuwe capaciteitswaarde	Waarde in Versie 4
2 rijstroken + spitsstrook links (2,50-2,75 m)	6.000 mvt/h	5.800 mvt/h
2 rijstroken + spitsstrook links (3,10 m)	6.200 mvt/h	6.100 mvt/h
2 rijstroken + spitsstrook rechts	6.000 m	5.300 mvt/h

Tapersamenvoeging

De tapersamenvoeging is een bijzonder type samenvoeging, die in paragraaf 3.5 verder is beschreven. Er zijn diverse capaciteitsmetingen uitgevoerd van tapersamenvoegingen, die in de tabellen hieronder zijn samengevat.

De gemeten capaciteitswaarden laten onderling grote verschillen zien. Voor een deel zal hier de verdeling van het verkeer over de beide toelidende wegen een rol spelen. In paragraaf 3.5 zijn de uitkomsten van FOSIM-simulaties opgenomen die

het effect van verschillende verdelingen over de toeleidende wegen laten zien.

A12 Re knp Prins Clausplein	2 + 2taper > 3	5.867	8%	5.725
A2 Li knp Empel	2 + 2taper > 3	6.140	13%	5.960
A12 Li knp Empel	2 + 2taper > 3	6.150	11%	5.938
A28 Li knp Lankhorst	2 + 2taper > 3	5.213	9%	5.213
Li knp. Waterberg	2 + 2taper > 3	5.712	12%	5.542
12 Re knp. Grijsoord	2 + 2taper > 3	5.544	15%	5.522
Gemiddelde		5.771		5.650

Nieuwe waarde Handboek CIA: 5.600 mvt/h

naam locatie	Type locatie	gemeten capaciteit	bij percentage vrachtverkeer	capaciteit bij 15% vrachtverkeer
A2 Re knp Everdingen (2017)	3 + 2taper > 4	8.436	10%	8.033
A2 Re knp Everdingen (2018)	3 + 2taper > 4	8.364	11%	8.073
A2 Re knp Everdingen (2019)	3 + 2taper > 4	8.328	11%	8.038
A2 Re knp Everdingen (2021)	3 + 2taper > 4	7.788	9%	7.419
Gemiddelde		8.229		7.891

Nieuwe waarde Handboek CIA: 8.000 mvt/h

De waarde voor de tapersamenvoeging 2 + 2 rijstroken > 3 is op basis van expert judgement licht naar boven afgerond, omdat de meting uit 2021 hier sterk afwijkt van de drie eerdere metingen (op dezelfde locatie).

Knooppunten

Wegen in knooppunten zijn bijzondere wegvakken, die in paragraaf 3.7 verder zijn beschreven. De afgelopen jaren zijn er enkele metingen uitgevoerd van de capaciteit van verbindingswegen in knooppunten. De metingen zijn van diverse typen verbindingswegen en zijn in de tabel hieronder samengevat.

naam locatie	Type locatie	gemeten capaciteit	bij percentage vrachtverkeer	capaciteit bij 15% vrachtverkeer
Knp Hoevelaken A1 Li > A28 Li	Verbindingslus 1 rs	1.404	20%	1.469
Knp Ridderster A15 Re > A16 Li	Verbindingslus 1 rs	1.944	7%	1.812
Knp Beekbergen A50 Re > A1 Re (2013)	Verbindingsboog 1 rs	1.779	9%	1.678
Knp Beekbergen A50 Re > A1 Re (2016)	Verbindingsboog 1 rs	1.680	19%	1.713
Knp. Lunetten A27 Li > A12 Li	Verbindingsboog 2 rs	3.192	8%	2.998

Op basis van bovenstaande waarden en expert judgement is een standaardwaarde bepaald voor verschillende type verbindingswegen. De bepaalde capaciteitswaarden sluiten aan bij de in Handboek CIA versie 4 gehanteerde reductie van 10-20%. Gezien het beperkte aantal beschikbare metingen én de grote verscheidenheid aan

vormgeving van verbindingswegen (o.a. lengte en boogstraal) dienen deze waarden wel met de nodige voorzichtigheid toegepast te worden.

Nieuwe waarde Handboek CIA:

- Verbindingslus 1 rijstrook: 1.650 mvt/h
- Verbindingsboog 1 rijstrook: 1.700 mvt/h
- Verbindingsboog 2 rijstroken: 3.000 mvt/h

Bijlage C Verschil capaciteitswaarden tussen de verschillende versies van het Handboek CIA

invoeging, en rijstrookbeëindiging en spitsstroken

De capaciteitswaarden, zoals vermeld in Tabel 3.2, verschillen enigszins tussen de verschillende versies van het Handboek CIA. De nieuwe waarden zijn gebaseerd op recente capaciteitsmetingen, zoals in bijlage B vermeld wordt. In onderstaande tabel staan de verschillen uitgedrukt tussen de laatste drie versies. De capaciteitswaarden zijn in mvt/h bij 15 % vrachtverkeer.

De onderstaande tabel laat zien dat de verschillen klein zijn, op de capaciteit van 5 en 6 rijstroken na. De capaciteit voor rijbanen met 4 en 5 rijstroken was voor versie 4 voor de eerste keer in de praktijk gemeten. Dit heeft geleid tot een aanpassing van de capaciteit van 5 rijstroken. De waarden voor 4 en 5 rijstroken zijn gemeten met een andere methode en zonder congestie. De metingen voor 4 en 5 rijstroken zijn daarom op een dusdanige manier afgerond dat deze in lijn zijn met de metingen bij 2 en 3 rijstroken (met een hogere betrouwbaarheid). Met de aangepaste waarden voor 5 rijstroken is ook de schatting voor 6 en 7 rijstroken aangepast.

Rijstroken	CIA versie				Vershil
	CIA versie 2	CIA versie 3	CIA versie 4	4.5	absoluut Versie 4 > 4.5
1 lang	1.880	1.900	1.900	1.900	0
1 kort	2.010	2.100	2.100	2.100	0
2	4.040	4.200	4.300	4.100	-200
3	6.300	6.300	6.200	6.200	0
4	8.440	8.200	8.200	8.200	0
5	10.570	10.000	10.250	10.000	-250
6	12.570	11.500	12.000	11.700	-300
7	niet opgegeven	13.000	13.500	13.300	-200
2 rijstroken + spitsstrook links (2,50-2,75 m)	niet opgegeven	5.800	5.800	6.000	200
2 rijstroken + spitsstrook links (3,10 m)	niet opgegeven	niet opgegeven	6.100	6.200	100
2 rijstroken + spitsstrook rechts	niet opgegeven	niet opgegeven	5.300	6.000	700

De capaciteiten van rijbanen met 5, 6 en 7 rijstroken is aangepast op basis van metingen en in lijn met een afnemende capaciteit per rijstrook als het aantal rijstroken toeneemt. De capaciteit van een rijbaan met 2 rijstroken is aangepast op basis van metingen met als waarschijnlijke oorzaken de toenemende aandeel vrachtverkeer en groter aandeel daarbij van langere vrachtwagens.

Capaciteitswaarden van symmetrische weefvakken in dit handboek zijn vergelijkbaar met de waarden van de versies 3 en 4.

Tussen versie 3 en 4 zijn de capaciteitswaarden voor het 1+1 symmetrisch weefvak op rangeerbanen aangepast op basis van FOSIM-simulaties. In versie 3 waren de capaciteitswaarden van asymmetrische weefvakken al uitvoerig aangepast ten opzichte van versie 2, doordat er sinds versie 3 uitgegaan wordt van wevende verkeersstromen (en doorgaande verkeersstromen) passend voor de betreffende configuratie.

Werk in uitvoering

In Arcadis 2016 zijn aanvullende metingen uitgevoerd bij wegwerkzaamheden met een vluchtstrookafzetting en snelheidsbeperking. Deze nieuwe metingen hebben geleid tot onderstaande aanpassing (zie ook Bijlage J).

Rijstroken	CIA versie 3	CIA versie 4	CIA versie 4.5	Vershil absoluut	Vershil relatief
2 rijstroken, afzetting vluchtstrook	3.600	3.600	3.400	-200	-5,5%

Bijlage D Capaciteitswaarden symmetrische weefvakken

Deze bijlage bevat waarden voor de vrije capaciteit van verschillende configuraties symmetrische weefvakken. Deze waarden gelden onder de standaardomstandigheden zoals deze zijn vermeld in Tabel 3.1.

Weefvak type 1+1 -> 1+1

% wevend verkeer *		Weefvak-lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			150	200	350	150	200	350	150	200	350
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120 ¹	120 ¹	120 ¹	120 ¹	120 ¹	120 ¹	120 ¹	120 ¹	120 ¹
25%	25%		-	-	-	-	-	-	-	-	-
50%	50%		-	-	2.680	-	-	2.320	-	-	2.150
75%	75%		-	-	2.360	-	-	2.110	-	-	1.940
100%	100%		2.100	2.140	2.170	1.850	1.860	1.930	1.680	1.720	1.780

1: Het 1+1 weefvak (120 km/h) heeft betrekking op rangeerbanen bij klaverbladen.

Weefvak type 2+1 -> 2+1

% wevend verkeer *		Weefvak-lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			500	600	700	500	600	700	500	600	700
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	25%		6660	6470	6770	5600	5590	5710	4940	4940	5030
75%	38%		5860	5830	5.940	4960	5100	5.200	4390	4430	4.610
100%	50%		5.360	5.700	5.680	4.870	4.860	4.970	4.360	4.390	4.500

Weefvak type 1+2 -> 1+2

% wevend verkeer *		Weefvak-lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			600	700	800	600	700	800	600	700	800
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	50%		5.890	6.170	6.010	5.390	5.330	5.410	4.730	4.780	4.790
50%	100%		5.150	5.140	5.390	4.680	4.520	4.800	4.210	4.280	4.320

Weefvak type 3+1 -> 3+1

% wevend verkeer *			5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			Weefvak- lengte (m)								
			600	700	800	600	700	800	600	700	800
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	17%		8.830	9.170	8.960	7.520	7.570	7.600	6.430	6.480	6.530
75%	25%		8.400	8.530	8.660	6.970	6.840	7.120	6.020	6.120	6.120
100%	33%		7.700	7.990	8.140	6.530	6.440	6.770	5.630	5.780	5.880

Weefvak type 2+2 -> 2+2

% wevend verkeer *			5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			Weefvak- lengte (m)								
			650	750	850	650	750	850	650	750	850
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	25%		8.690	8.710	8.830	7.670	7.690	7.660	6.840	6.830	6.850
50%	50%		7.240	7.510	7.430	6.550	6.640	6.700	5.800	5.870	6.010
75%	75%		6.040	6.290	6.180	5.420	5.620	5.740	4.810	5.060	5.150

Weefvak type 4+1 -> 4+1

% wevend verkeer *			5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			Weefvak- lengte (m)								
			600	700	800	600	700	800	600	700	800
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	13%		11.110	11.320	11.470	9.020	9.310	9.500	7.720	7.750	8.060
75%	19%		10.610	10.600	10.560	8.240	8.450	8.720	7.100	7.240	7.380
100%	25%		9.970	10.500	10.310	7.740	7.980	8.090	6.560	6.650	6.780

Weefvak type 3+2 -> 3+2

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer				15 % vrachtverkeer			
			700	800	900	1000	700	800	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	17%		11.360	11.270	11.350	11.330	9.660	9.710	9.800	9.900
50%	33%		9.400	9.780	9.590	10.010	8.100	8.290	8.450	8.540
75%	50%		7.500	7.840	8.140	8.290	6.530	6.790	6.960	7.310

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	25 % vrachtverkeer			
			700	800	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	17%		8.590	8.560	8.590	8.420
50%	33%		7.120	7.190	7.400	7.560
75%	50%		5.840	6.130	6.290	6.310

Weefvak type 4+2 -> 4+2

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer				15 % vrachtverkeer			
			800	900	1000	1100	800	900	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	13%		13.820	13.850	13.740	13.880	11.710	11.710	11.600	11.690
50%	25%		11.530	11.770	11.960	12.310	9.710	9.880	10.000	10.190
75%	38%		8.990	9.230	9.460	9.830	7.840	8.000	8.390	8.330

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	25 % vrachtverkeer			
			800	900	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	13%		10.000	9.910	9.950	9.920
50%	25%		8.120	8.240	8.330	8.620
75%	38%		7.020	6.830	7.190	7.310

Weefvak type 3+3 -> 3+3

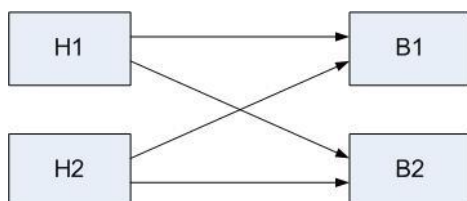
% wevend verkeer *			5 % vrachtverkeer				15 % vrachtverkeer			
			Weefvak- lengte (m)							
			800	900	1000	1100	800	900	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	25%		12.520	12.900	12.850	13.060	10.390	10.660	10.850	10.960
50%	50%		8.940	9.130	9.400	9.680	7.630	7.810	8.030	8.300
75%	75%		7.080	7.370	7.690	7.570	6.110	6.250	6.380	6.550

% wevend verkeer *			25 % vrachtverkeer			
			Weefvak- lengte (m)			
			800	900	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	25%		9.140	9.310	9.490	9.610
50%	50%		6.950	7.240	7.330	7.480
75%	75%		5.400	5.380	5.800	5.830

Weefvak type 5+1 -> 5+1

% wevend verkeer *			5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			Weefvak- lengte (m)								
			650	750	850	650	750	850	650	750	850
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	10%		13.490	13.700	13.930	10.850	11.140	11.230	8.810	8.880	9.190
75%	15%		12.380	12.470	12.670	9.520	10.020	10.360	7.900	7.920	7.990
100%	20%		11.350	11.680	11.930	8.890	9.070	9.260	7.320	7.270	7.730

* toelichting bij % wevende verkeer



Bijlage E Capaciteitswaarden asymmetrische weefvakken

Deze bijlage bevat waarden voor de vrije capaciteit van verschillende configuraties asymmetrische weefvakken. Deze waarden gelden onder de standaardomstandigheden zoals deze zijn vermeld in Tabel 3.1.

Weefvak type 2+1 -> 1+2

% wevend verkeer *		Weefvak-lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			700	800	900	700	800	900	700	800	900
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	63%		6.080	6.220	6.070	5.320	5.260	5.390	4.780	4.870	4.810
50%	75%		5.410	5.360	5.540	4.730	4.850	4.960	4.300	4.420	4.440
75%	88%		4.730	4.870	4.960	4.240	4.360	4.370	3.770	3.910	4.080

Weefvak type 1+2 -> 2+1

% wevend verkeer *		Weefvak-lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer		25 % vrachtverkeer	
			700	800	700	800	700	800
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120
50%	0%		6.530	6.760	5.990	6.020	5.240	5.280
75%	50%		6.170	6.020	5.420	5.390	4.760	4.870
100%	100%		4.990	5.080	4.700	4.780	4.360	4.360

Weefvak type 2+1 -> 2+2

% wevend verkeer *		Weefvak-lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			600	700	800	600	700	800	600	700	800
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	38%		6.010	5.820	5.630	5.390	5.320	4.900	4.850	4.740	4.570
50%	50%		5.800	5.760	5.660	5.210	5.170	4.920	4.660	4.550	4.400
75%	63%		5.520	5.380	5.330	4.930	4.870	4.600	4.550	4.400	4.190

Weefvak type 2+1 -> 2+2 taper

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			500	600	700	500	600	700	500	600	700
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	38%		5.500	4.900	4.640	4.660	4.030	3.900	4.160	3.650	3.540
50%	50%		5.290	4.690	4.510	4.630	4.010	3.920	4.010	3.550	3.420
75%	63%		4.840	4.550	4.440	4.090	3.880	3.740	3.860	3.430	3.420

Weefvak type 2+2 taper -> 2+1

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			650	750	850	650	750	850	650	750	850
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	17%		5.980	6.040	6.060	5.120	5.280	5.410	4.630	4.600	4.700
75%	42%		5.410	5.520	5.580	4.730	4.760	4.880	4.210	4.160	4.250
100%	67%		4.970	5.080	5.220	4.360	4.460	4.330	3.760	4.040	3.920

Weefvak type 2+2 -> 3+1

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			750	850	950	750	850	950	750	850	950
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	0%		9.240	9.220	9.300	8.140	8.280	8.300	7.220	7.300	7.220
75%	25%		8.110	8.270	8.340	7.310	7.450	7.440	6.520	6.480	6.650
100%	50%		6.860	7.210	6.960	6.470	6.370	6.480	5.570	5.720	5.770

Weefvak type 3+1 -> 2+2

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			750	850	950	750	850	950	750	850	950
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	42%		8.240	8.530	8.570	7.240	7.360	7.400	6.460	6.460	6.550
50%	50%		7.540	7.540	7.860	6.580	6.790	6.710	5.890	6.020	6.020
75%	58%		6.620	6.780	7.130	5.930	5.900	6.000	5.260	5.390	5.630

Weefvak type 3+2 -> 4+1

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			900	1000	1100	900	1000	1100	900	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	0%		11.710	11.740	11.580	10.270	10.270	10.430	9.110	9.130	9.160
75%	17%		10.930	10.880	10.880	9.290	9.440	9.490	8.340	8.110	8.180
100%	33%		8.900	8.960	9.040	7.840	7.790	8.020	6.850	6.910	6.860

Weefvak type 4+1 -> 3+2

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			900	1000	1100	900	1000	1100	900	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	31%		10.880	11.030	11.090	9.410	9.240	9.370	8.100	8.160	8.260
50%	38%		9.820	9.980	10.040	8.600	8.540	8.640	7.340	7.400	7.490
75%	44%		8.810	8.880	9.140	7.570	7.580	7.900	6.740	6.730	6.920

Weefvak type 2+3 -> 3+2

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			900	1000	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
50%	25%		10.380	10.320	9.020	9.000
75%	63%		7.800	8.040	6.920	6.900

Weefvak type 2+2 -> 3+2

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			900	1000	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	5%		6.320	6.200	5.760	5.400
50%	30%		6.970	6.790	6.080	5.710
75%	55%		7.380	7.240	6.740	6.130

Weefvak type 2+2 -> 3+2 taper

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			900	1000	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	5%		5.770	5.750	4.990	5.160
50%	30%		5.930	5.860	4.990	5.040
75%	55%		5.820	5.880	5.080	5.080

Weefvak type 3+1 -> 3+2

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			700	800	900	700	800	900	700	800	900
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	28%		6.220	6.080	5.780	5.380	5.180	5.030	4.750	4.660	4.500
50%	37%		6.040	5.700	5.590	5.030	4.910	4.860	4.440	4.300	4.310
75%	45%		5.900	5.660	5.540	4.850	4.640	4.780	4.340	4.160	4.250

Weefvak type 3+2 taper -> 3+1

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			700	800	700	800
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
50%	8%		8.040	8.140	6.980	7.080
75%	25%		7.160	7.280	6.190	6.230
100%	42%		6.340	6.530	5.450	5.650

Weefvak type 4+1 -> 4+2

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			700	800	900	700	800	900	700	800	900
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	23%		8.960	8.600	8.240	8.040	7.800	7.270	6.910	6.710	6.360
50%	29%		8.930	8.880	8.460	7.820	7.460	7.080	6.820	6.540	6.440
75%	35%		8.840	8.630	8.630	7.480	7.280	7.030	6.460	6.430	6.100

Weefvak type 4+1 -> 4+2 taper

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			600	700	800	600	700	800	600	700	800
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	23%		7.560	7.090	7.240	6.410	6.140	6.180	5.630	5.510	5.520
50%	29%		7.440	7.060	6.900	6.140	5.990	5.930	5.350	5.320	5.230
75%	35%		7.270	7.180	6.960	5.830	5.690	5.880	5.210	5.060	5.100

Weefvak type 4+2 taper -> 4+1

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			750	850	750	850
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
50%	5%		10.320	10.380	8.690	8.760
75%	18%		8.350	8.460	7.020	7.150
100%	30%		7.360	7.700	6.170	6.490

Weefvak type 5+1 -> 5+2

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			700	800	700	800
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	19%		10.690	10.370	9.060	8.720
50%	24%		10.790	10.240	8.890	8.770
75%	29%		10.260	10.210	8.540	8.260

Weefvak type 5+1 -> 5+2 taper

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			600	700	600	700
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	19%		8.980	8.580	7.790	7.430
50%	24%		8.700	8.340	7.040	7.020
75%	29%		8.760	8.040	6.640	6.610
100%	34%		8.260	8.140	6.550	6.580

Weefvak type 5+2 taper -> 5+1

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			750	850	750	850
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
50%	3%		12.560	12.500	10.540	10.520
75%	13%		10.400	10.510	8.410	8.680
100%	23%		8.120	8.020	6.910	6.850

Weefvak type 4+2 -> 3+3

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			1000	1100	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	38%		11.780	11.900	10.250	10.370
50%	50%		9.710	9.730	8.390	8.710
75%	63%		8.160	8.170	7.040	7.260

Weefvak type 3+3 -> 4+2

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			1000	1100	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
50%	17%		13.070	12.980	11.150	10.970
75%	42%		9.400	9.560	7.870	7.800

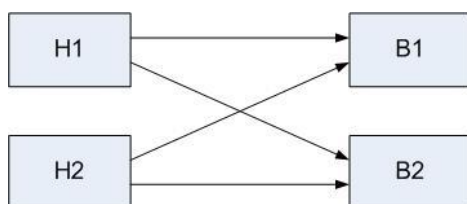
Weefvak type 5+1 -> 4+2

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			900	1000	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	25%		13.150	13.260	10.750	11.150
50%	30%		11.880	11.900	9.620	9.840
75%	35%		10.360	10.440	8.530	8.930

Weefvak type 4+2 -> 5+1

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			900	1000	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
75%	13%		12.910	13.130	11.090	10.920
100%	25%		10.010	10.660	9.110	9.140

* toelichting bij % wevende verkeer



Bijlage F Afrijcapaciteiten symmetrische weefvakken

Deze bijlage bevat waarden voor de afrijcapaciteit van verschillende configuraties symmetrische weefvakken. Deze waarden gelden onder de standaardomstandigheden zoals deze zijn vermeld in Tabel 3.1.

Weefvak type 1+1 -> 1+1, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			150	200	350	150	200	350	150	200	350
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	25%		-	-	-	-	-	-	-	-	-
50%	50%		-	-	2.570	-	-	2.220	-	-	1.980
75%	75%		-	-	2.260	-	-	1.990	-	-	1.790
100%	100%		2.040	2.060	2.100	1.800	1.810	1.850	1.610	1.660	1.680

¹: Het 1+1 weefvak (120 km/h) heeft betrekking op rangeerbanen bij klaverbladen

Weefvak type 2+1 -> 2+1, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			500	600	700	500	600	700	500	600	700
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	25%		4.630	4.700	4.750	3.980	4.040	4.080	3.550	3.600	3.650
75%	38%		3.890	3.950	4.000	3.310	3.370	3.410	2.960	3.000	3.050
100%	50%		3.370	3.420	3.480	2.930	2.960	3.020	2.620	2.660	2.720

Weefvak type 1+2 -> 1+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			600	700	800	600	700	800	600	700	800
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	17%		6.880	6.960	7.040	5.740	5.870	5.890	5.120	5.200	5.240
75%	25%		5.690	5.740	5.840	4.660	4.750	4.820	4.190	4.260	4.310
100%	33%		4.780	4.870	4.960	3.970	4.060	4.130	3.540	3.600	3.660

Weefvak type 2+2 -> 2+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			650	750	850	650	750	850	650	750	850
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	25%		7.010	7.070	7.120	5.980	6.020	6.080	5.320	5.380	5.410
50%	50%		5.170	5.230	5.280	4.380	4.440	4.480	3.900	3.950	4.000
75%	75%		3.650	3.710	3.780	3.180	3.240	3.300	2.900	2.950	3.000

Weefvak type 4+1 -> 4+1, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			600	700	800	600	700	800	600	700	800
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	13%		9.070	9.190	9.250	7.580	7.660	7.740	6.860	6.960	7.010
75%	19%		7.390	7.520	7.630	6.190	6.240	6.360	5.710	5.860	5.950
100%	25%		6.100	6.230	6.370	5.030	5.140	5.230	4.610	4.700	4.780

Weefvak type 3+2 -> 3+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer				15 % vrachtverkeer			
			700	800	900	1000	700	800	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	17%		9.310	9.340	9.460	9.500	7.800	7.850	7.940	8.000
50%	33%		6.730	6.860	6.950	7.020	5.450	5.530	5.600	5.690
75%	50%		4.640	4.740	4.840	4.940	3.910	3.970	4.040	4.140

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	25 % vrachtverkeer			
			700	800	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	17%		6.890	6.940	7.020	7.060
50%	33%		4.780	4.860	4.920	4.980
75%	50%		3.480	3.540	3.580	3.650

Weefvak type 4+2 -> 4+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefva k-lengte (m)	5 % vrachtverkeer				15 % vrachtverkeer			
			800	900	1000	1100	800	900	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	13%		11.570	11.600	11.650	11.700	9.650	9.760	9.880	9.960
50%	25%		8.260	8.400	8.470	8.620	6.560	6.660	6.760	6.800
75%	38%		5.630	5.750	5.860	5.950	4.620	4.760	4.800	4.870

% wevend verkeer *		Weefva k-lengte (m)	25 % vrachtverkeer			
			800	900	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	13%		8.500	8.590	8.660	8.700
50%	25%		5.870	5.930	5.990	6.070
75%	38%		4.090	4.180	4.240	4.300

Weefvak type 3+3 -> 3+3, afrijcapaciteit

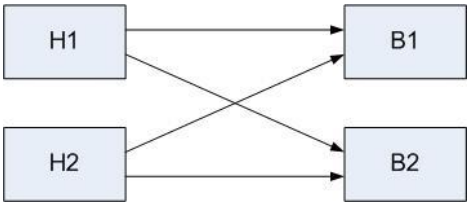
% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer				15 % vrachtverkeer			
			800	900	1000	1100	800	900	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	25%		9.770	9.840	9.940	9.970	8.140	8.260	8.280	8.350
50%	50%		5.890	6.040	6.110	6.180	4.970	5.050	5.120	5.200
75%	75%		3.710	3.780	3.840	3.890	3.230	3.280	3.320	3.370

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	25 % vrachtverkeer			
			800	900	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	25%		7.090	7.200	7.260	7.320
50%	50%		4.420	4.500	4.570	4.610
75%	75%		2.930	2.980	3.000	3.020

Weefvak type 5+1 -> 5+1, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			650	750	850	650	750	850	650	750	850
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	10%		11.500	11.590	11.640	9.650	9.790	9.860	8.740	8.840	8.900
75%	15%		9.460	9.590	9.760	8.050	8.180	8.290	7.760	7.820	7.850
100%	20%		7.550	7.790	7.930	6.440	6.640	6.710	6.350	6.560	6.660

* toelichting bij % wevende verkeer



Bijlage G Afrijcapaciteiten asymmetrische weefvakken

Deze bijlage bevat waarden voor de afrijcapaciteit van verschillende configuraties asymmetrische weefvakken. Deze waarden gelden onder de standaardomstandigheden zoals deze zijn vermeld in Tabel 3.1.

Weefvak type 2+1 -> 1+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak-lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			700	800	900	700	800	900	700	800	900
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	63%		4.720	4.850	4.900	4.290	4.360	4.370	3.840	3.890	3.910
50%	75%		4.120	4.150	4.210	3.560	3.600	3.610	3.220	3.250	3.260
75%	88%		3.050	3.110	3.140	2.710	2.720	2.770	2.470	2.480	2.500

Weefvak type 1+2 -> 2+1, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak-lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer		25 % vrachtverkeer	
			700	800	700	800	700	800
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120
50%	0%		5.140	5.170	4.630	4.660	4.220	4.250
75%	50%		4.510	4.670	4.150	4.190	3.830	3.880
100%	100%		3.900	3.960	3.560	3.610	3.310	3.370

Weefvak type 2+1 -> 2+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak-lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			600	700	800	600	700	800	600	700	800
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	38%		4.190	4.220	4.260	3.600	3.620	3.700	3.240	3.280	3.340
50%	50%		3.650	3.710	3.740	3.130	3.190	3.220	2.810	2.830	2.880
75%	63%		3.220	3.260	3.310	2.800	2.830	2.880	2.480	2.530	2.570

Weefvak type 2+1 -> 2+2 taper, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			500	600	700	500	600	700	500	600	700
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	38%		4.100	4.150	4.200	3.500	3.560	3.610	3.140	3.200	3.250
50%	50%		3.560	3.610	3.670	3.040	3.080	3.130	2.700	2.750	2.810
75%	63%		3.080	3.160	3.190	2.650	2.710	2.770	2.380	2.420	2.480

Weefvak type 2+2 taper -> 2+1, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			650	750	850	650	750	850	650	750	850
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	17%		5.690	5.710	5.740	4.900	4.960	4.980	4.320	4.380	4.460
75%	42%		3.960	4.060	4.130	3.360	3.430	3.480	2.980	3.040	3.080
100%	67%		3.130	3.200	3.260	2.690	2.740	2.780	2.380	2.420	2.460

Weefvak type 2+2 -> 3+1, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			750	850	950	750	850	950	750	850	950
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	0%		7.460	7.520	7.540	6.840	6.840	6.860	5.820	6.050	6.200
75%	25%		6.650	6.620	6.650	6.110	6.260	6.340	5.590	5.600	5.690
100%	50%		5.470	5.720	5.810	4.960	4.970	5.030	4.390	4.430	4.440

Weefvak type 3+1 -> 2+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			750	850	950	750	850	950	750	850	950
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	42%		6.240	6.370	6.470	5.480	5.560	5.620	4.880	4.930	4.980
50%	50%		5.450	5.570	5.580	4.610	4.610	4.680	4.100	4.120	4.140
75%	58%		3.980	4.090	4.130	3.440	3.490	3.530	3.110	3.120	3.160

Weefvak type 3+2 -> 4+1, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			900	1000	1100	900	1000	1100	900	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
50%	0%		10.300	10.310	10.340	9.020	9.020	9.130	8.280	8.290	8.300
75%	17%		9.320	9.350	9.480	8.140	8.300	8.310	7.310	7.330	7.360
100%	33%		7.440	7.730	7.860	6.520	6.550	6.540	5.640	5.680	5.690

Weefvak type 4+1 -> 3+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			900	1000	1100	900	1000	1100	900	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	31%		8.090	8.210	8.280	6.820	6.950	6.940	6.040	6.070	6.110
50%	38%		6.750	6.700	6.770	5.460	5.480	5.500	4.790	4.820	4.840
75%	44%		4.930	5.040	5.140	4.160	4.220	4.220	3.760	3.740	3.790

Weefvak type 2+3 -> 3+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			900	1000	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
50%	25%		8.270	8.400	7.060	7.340
75%	63%		6.010	6.070	5.200	5.230

Weefvak type 2+2 -> 3+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			900	1000	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	5%		5.960	5.990	5.240	5.270
50%	30%		6.260	6.250	5.380	5.380
75%	55%		5.920	5.900	5.110	5.150

Weefvak type 2+2 -> 3+2 taper, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			900	1000	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	5%		5.840	5.820	5.170	5.180
50%	30%		5.810	5.840	5.120	5.150
75%	55%		5.510	5.520	4.940	4.980

Weefvak type 3+1 -> 3+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			700	800	900	700	800	900	700	800	900
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	28%		5.590	5.650	5.710	4.720	4.790	4.840	4.270	4.310	4.390
50%	37%		4.740	4.810	4.880	3.970	4.020	4.120	3.530	3.620	3.680
75%	45%		4.100	4.200	4.270	3.470	3.520	3.580	3.120	3.160	3.200

Weefvak type 3+1 -> 3+2 taper, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			600	700	800	600	700	800	600	700	800
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	28%		5.460	5.570	5.640	4.660	4.730	4.790	4.180	4.240	4.300
50%	37%		4.640	4.760	4.820	3.880	3.960	4.030	3.460	3.520	3.610
75%	45%		3.980	4.090	4.190	3.380	3.440	3.530	3.000	3.060	3.130

Weefvak type 3+2 taper -> 3+1, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			700	800	700	800
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
50%	8%		8.000	8.000	6.950	6.960
75%	25%		5.840	6.000	4.820	4.970
100%	42%		4.340	4.420	3.580	3.660

Weefvak type 4+1 -> 4+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			700	800	900	700	800	900	700	800	900
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	23%		6.880	6.950	7.020	5.760	5.880	5.950	5.360	5.440	5.500
50%	29%		5.800	5.960	6.060	4.840	4.970	5.050	4.510	4.520	4.640
75%	35%		4.940	5.020	5.140	4.120	4.210	4.320	3.770	3.840	3.900

Weefvak type 4+1 -> 4+2 taper, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer			15 % vrachtverkeer			25 % vrachtverkeer		
			600	700	800	600	700	800	600	700	800
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120	120	120	120	120	120
25%	23%		6.730	6.880	6.970	5.700	5.810	5.880	5.290	5.350	5.450
50%	29%		5.710	5.880	6.010	4.780	4.870	5.020	4.340	4.460	4.550
75%	35%		4.740	4.940	5.040	4.040	4.140	4.240	3.660	3.740	3.830

Weefvak type 4+2 taper -> 4+1, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak-lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			750	850	750	850
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
50%	5%		10.250	10.280	8.690	8.760
75%	18%		7.860	8.050	6.540	6.610
100%	30%		5.620	5.800	4.610	4.750

Weefvak type 5+1 -> 5+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak-lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			700	800	700	800
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	19%		8.350	8.440	7.190	7.310
50%	24%		6.860	7.010	5.840	5.980
75%	29%		5.690	5.880	4.800	4.930

Weefvak type 5+1 -> 5+2 taper, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak-lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			600	700	600	700
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	19%		8.160	8.280	7.000	7.080
50%	24%		6.800	7.000	5.750	5.890
75%	29%		5.530	5.690	4.700	4.850
100%	34%		4.670	4.840	4.000	4.120

Weefvak type 5+2 taper -> 5+1, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak-lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			750	850	750	850
H2->B1	H1->B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
50%	3%		12.560	12.580	10.700	10.720
75%	13%		10.130	10.400	8.860	8.990
100%	23%		7.010	7.260	5.920	6.110

Weefvak type 4+2 -> 3+3, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			1000	1100	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	38%		8.990	8.980	7.380	7.440
50%	50%		6.080	6.140	5.140	5.220
75%	63%		4.280	4.370	3.650	3.680

Weefvak type 3+3 -> 4+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			1000	1100	1000	1100
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
50%	17%		10.610	10.730	9.260	9.220
75%	42%		7.510	7.660	6.460	6.480

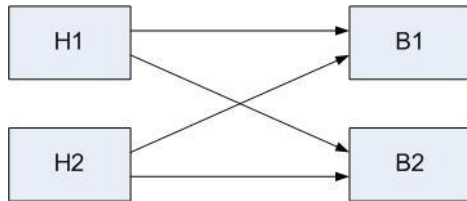
Weefvak type 5+1 -> 4+2, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			900	1000	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
25%	25%		9.670	9.780	7.940	7.960
50%	30%		7.980	8.080	6.500	6.470
75%	35%		5.900	5.950	4.980	4.920

Weefvak type 4+2 -> 5+1, afrijcapaciteit

% wevend verkeer *		Weefvak- lengte (m)	5 % vrachtverkeer		15 % vrachtverkeer	
			900	1000	900	1000
H2- >B1	H1- >B2	max. snelheid (km/h)	120	120	120	120
75%	13%		11.600	11.650	9.930	10.000
100%	25%		9.400	9.370	7.850	7.840

* toelichting bij % wevende verkeer



Bijlage H Effect van diverse invloedsfactoren op de
capaciteit van een weefvak

Er is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om het effect van verschillende invloedsfactoren op de capaciteit van een weefvak te onderzoeken. Hiervoor is een symmetrisch 2+2 weefvak genomen. De volgende invloedsfactoren op de capaciteit zijn onderzocht:

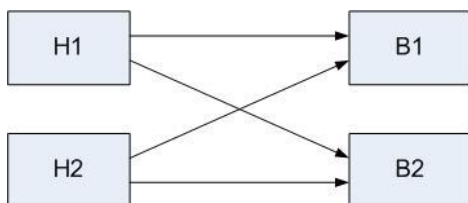
- de lengte van het weefvak;
- de maximumsnelheid;
- het aandeel vrachtverkeer;
- het aandeel wevend verkeer;
- de verhouding tussen de twee intensiteiten van de inkomende rijbanen (H1 / H2);
- de aandeel wevend verkeer (H1 naar B2 en H2 naar B1).

De varianten zijn als volgt gekozen:

variant	% vrachtverkeer	% wevend verkeer	weefvaklengte [m]	max snelheid [km/h]
basis variant	15 %	50 %	600	120
minder vrachtverkeer variant	5 %	50 %	600	120
meer vrachtverkeer variant	25 %	50 %	600	120
langer weefvak	15 %	50 %	900	120

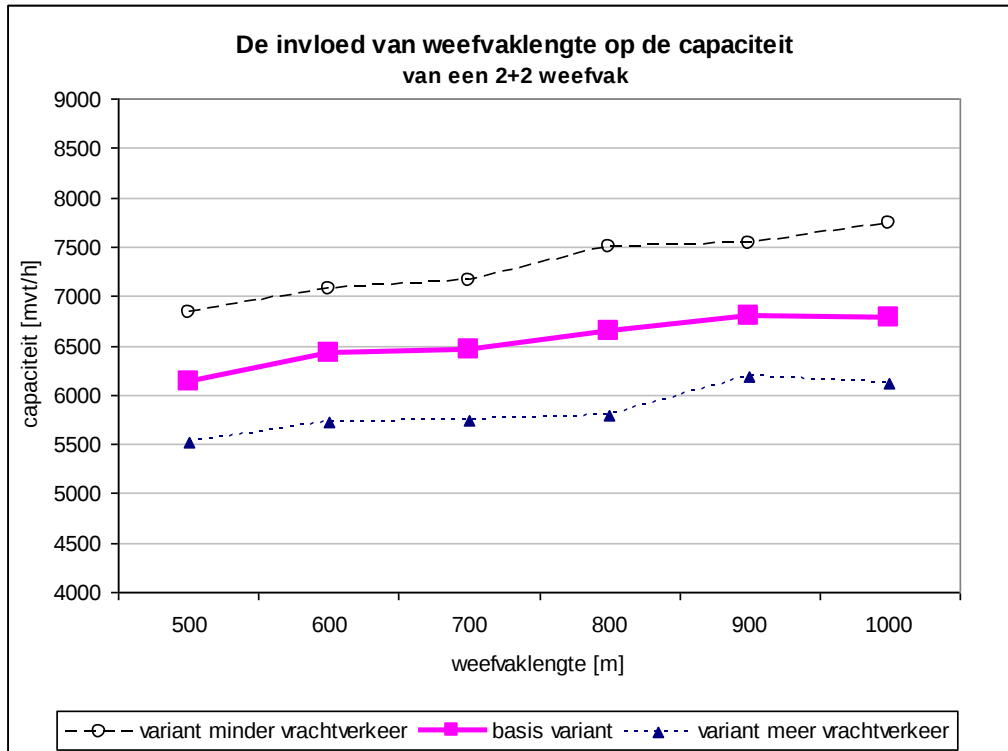
Bij de varianten in bovenstaande tabel is aangenomen dat de intensiteit van herkomst H2 (rechter/onderste inkomende rijbaan) even groot is als de intensiteit van herkomst H1 (bovenste/linker inkomende rijbaan), waarmee de verhouding tussen de twee inkomende rijbanen op 50 / 50 is gesteld. Daarnaast wordt uitgegaan dat evenveel verkeer van bestemming wisselt, dus dat van H1 naar B2 en van H2 naar B1 evenveel verkeer gaat. Het aandeel van de wevende verkeersstromen gerelateerd aan de totale intensiteit van de inkomende rijbanen (herkomsten) is daardoor 50 % en symmetrisch omdat deze voor beide inkomende rijbanen gelijk is.

De laatste twee grafieken en tabellen van deze bijlage geven de effecten op de capaciteit aan indien de verhouding van de intensiteiten van de inkomende rijbanen (H1 en H2) afwijkt van een (nagenoeg) gelijke verdeling 50 / 50 en als het aandeel wevend verkeer gevarieerd wordt.



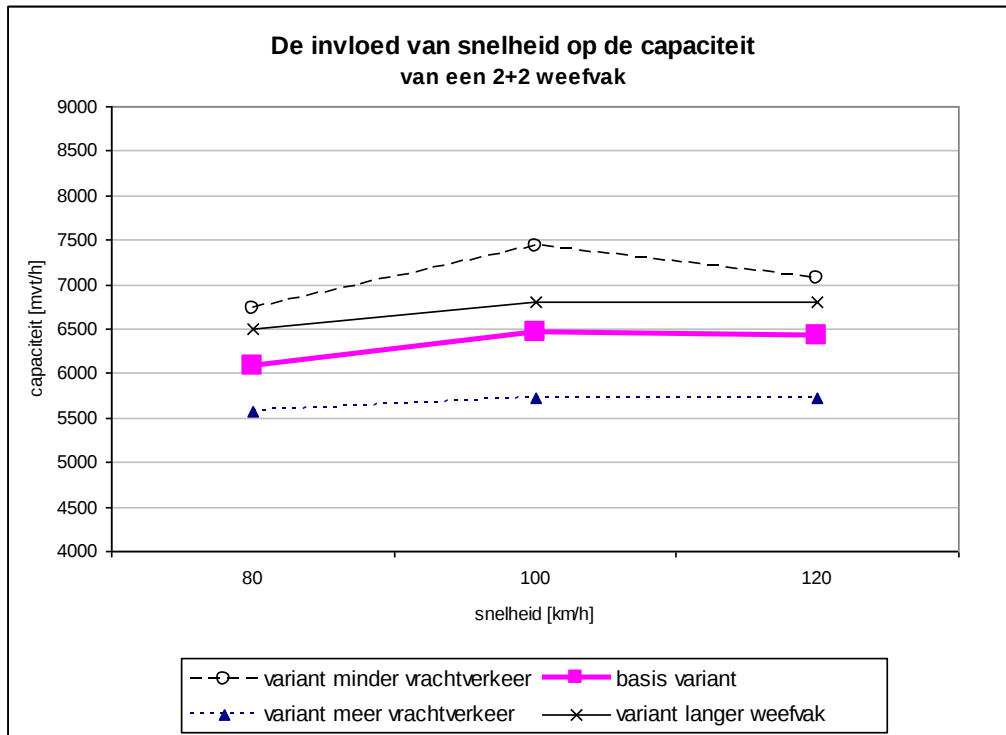
De capaciteiten zijn berekend met het simulatiemodel FOSIM. Opgemerkt wordt dat kleine verschillen in capaciteit veroorzaakt (kunnen) worden door toevalligheden in de simulatie (kleine onzekerheden in uitkomst inherent aan het simulatieproces).

In onderstaande grafieken en tabellen zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse per invloedsfactor weergegeven.



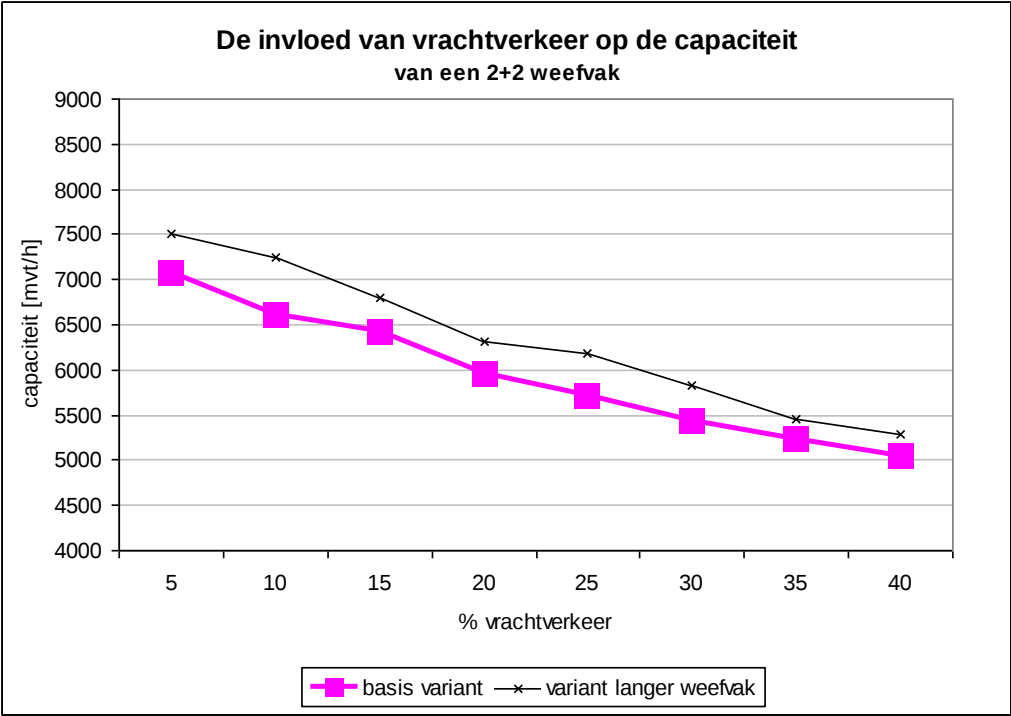
capaciteit [mvt/h] voor verschillende weefvaklengten

variant	weefvaklengte [m]					
	500	600	700	800	900	1000
5 % vrachtverkeer	6830	7070	7150	7500	7540	7740
15 % vrachtverkeer	6130	6420	6460	6650	6800	6780
25 % vrachtverkeer	5520	5720	5740	5800	6190	6110



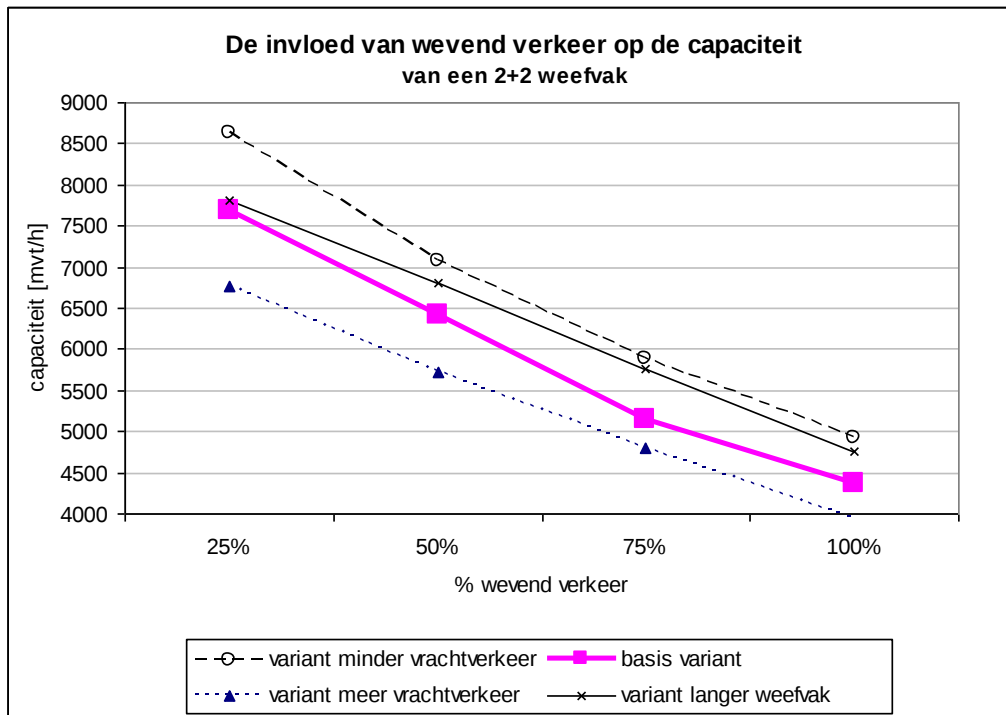
capaciteit [mvt/h] voor verschillende maximum snelheden

variant	max snelheid [km/h]		
	80	100	120
5 % vrachtverkeer, L = 600 m	6730	7430	7070
15 % vrachtverkeer, L = 600 m	6080	6470	6420
25 % vrachtverkeer, L = 600 m	5580	5720	5720
15 % vrachtverkeer, L = 900 m	6500	6800	6800



capaciteit [mvt/h] voor verschillende percentages vrachtverkeer

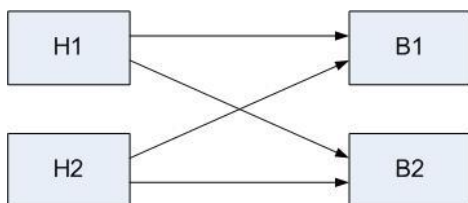
variant	% vrachtverkeer								
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %
Lengte = 600 m	9050	7070	6610	6420	5960	5720	5440	5230	5050
Lengte = 900 m	9760	7510	7240	6800	6310	6190	5820	5460	5280

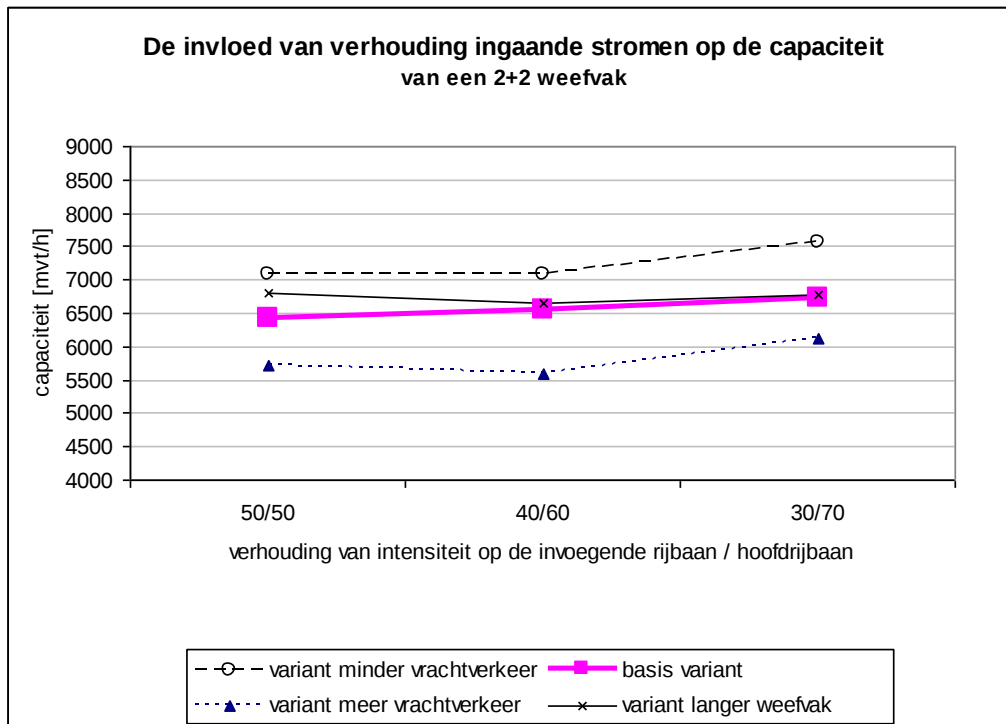


capaciteit [mvt/h] voor verschillende percentages wevend verkeer

variant	% wevend verkeer			
	25	50	75	100
5 % vrachtverkeer, L = 600 m	8630	7070	5890	4930
15 % vrachtverkeer, L = 600 m	7680	6420	5140	4370
25 % vrachtverkeer, L = 600 m	6760	5720	4790	3940
15 % vrachtverkeer, L = 900 m	7810	6800	5770	4760

Het wevend verkeer is symmetrisch, dus de twee wevende verkeersstromen H1 naar B2 en H2 naar B1 zijn aan elkaar gelijk.

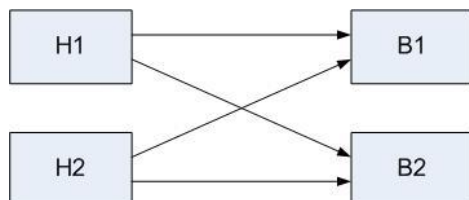


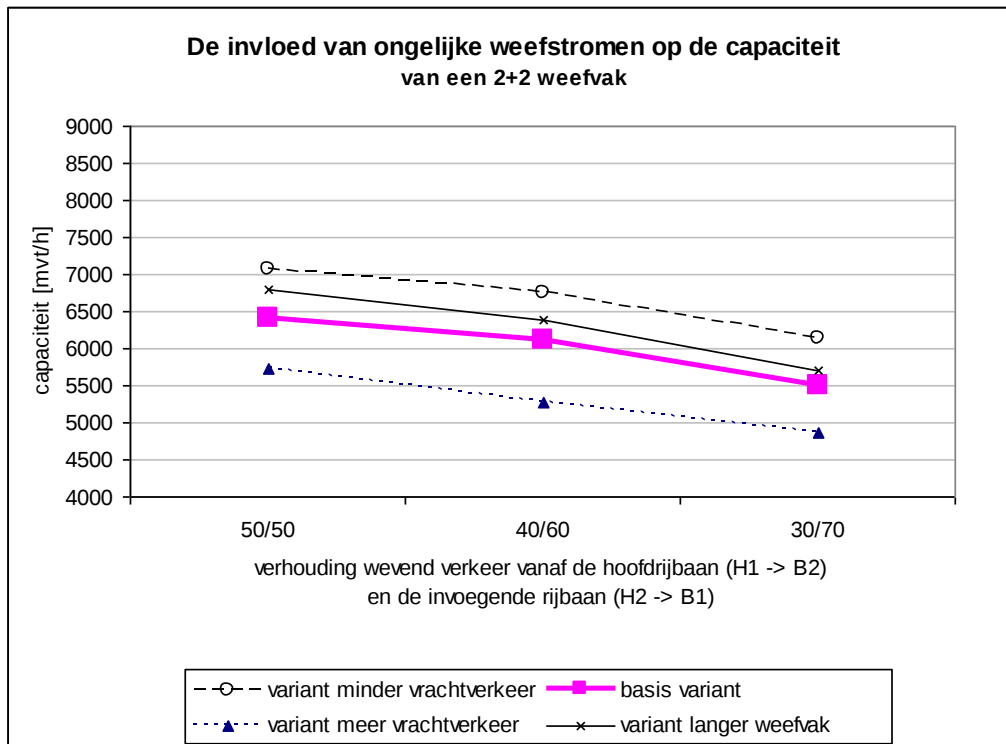


capaciteit [mvt/h] voor verschillende verhoudingen van inkomende verkeersstromen

variant	verhouding intensiteit [H2/H1]		
	50/50	40/60	30/70
5 % vrachtverkeer, L = 600 m	7070	7070	7550
15 % vrachtverkeer, L = 600 m	6420	6540	6730
25 % vrachtverkeer, L = 600 m	5720	5590	6120
15 % vrachtverkeer, L = 900 m	6800	6640	6780

De intensiteiten van de herkomsten H1 en H2 zijn niet aan elkaar gelijk. Het aandeel wevend verkeer is steeds 50 %, zoals in de basisvariant.

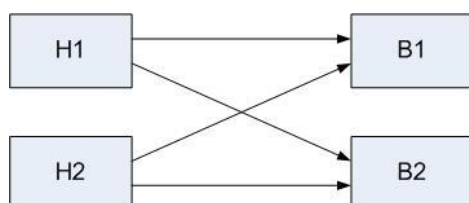




capaciteit [mvt/h] voor niet-symmetrische wevende verkeersstromen.

variant	verhouding weefstromen [H1->B2/H2->B1]		
	50/50	40/60	30/70
5 % vrachtverkeer, L = 600 m	7070	6760	6140
15 % vrachtverkeer, L = 600 m	6420	6110	5510
25 % vrachtverkeer, L = 600 m	5720	5280	4870
15 % vrachtverkeer, L = 900 m	6800	6380	5710

De intensiteiten van de herkomsten H1 en H2 zijn aan elkaar gelijk. Het aandeel wevend verkeer (H1 naar B2 en H2 naar B1) wordt gevarieerd.



Bijlage I Omrekenfactoren percentage vrachtverkeer

De tabellen in deze bijlage geven reductie- en ophoogfactoren om een omrekening te maken van het ene percentage vrachtverkeer naar een ander percentage vrachtverkeer. Bijvoorbeeld van het in het CIA gehanteerde standaard percentage van 15% vrachtverkeer naar het percentage vrachtverkeer voor de te bekijken situatie.

Deze bijlage bevat omrekenfactoren voor diverse pae-factoren. Voor het Handboek CIA wordt uitgegaan van een pae-factor van 2,0 (zie ook paragraaf 4.3.1).

reductiefactoren verkeerssamenstelling bij een pae-factor van 1,5

van % vrachtverkeer	naar % vrachtverkeer (bij een pae factor van 1,5)						
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
0 %	1,00	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87
5 %	1,03	1,00	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89
10 %	1,05	1,02	1,00	0,98	0,95	0,93	0,91
15 %	1,08	1,05	1,02	1,00	0,98	0,96	0,93
20 %	1,10	1,07	1,05	1,02	1,00	0,98	0,96
25 %	1,13	1,10	1,07	1,05	1,02	1,00	0,98
30 %	1,15	1,12	1,10	1,07	1,05	1,02	1,00

reductiefactoren verkeerssamenstelling bij een pae-factor van 1,7

van % vrachtverkeer	naar % vrachtverkeer (bij een pae factor van 1,7)						
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
0 %	1,00	0,97	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83
5 %	1,04	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,86
10 %	1,07	1,03	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
15 %	1,11	1,07	1,03	1,00	0,97	0,94	0,91
20 %	1,14	1,10	1,07	1,03	1,00	0,97	0,94
25 %	1,18	1,14	1,10	1,06	1,03	1,00	0,97
30 %	1,21	1,17	1,13	1,10	1,06	1,03	1,00

reductiefactoren verkeerssamenstelling bij een pae-factor van 1,8

van % vrachtverkeer	naar % vrachtverkeer (bij een pae factor van 1,8)						
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
0 %	1,00	0,96	0,93	0,89	0,86	0,83	0,81
5 %	1,04	1,00	0,96	0,93	0,90	0,87	0,84
10 %	1,08	1,04	1,00	0,96	0,93	0,90	0,87
15 %	1,12	1,08	1,04	1,00	0,97	0,93	0,90
20 %	1,16	1,12	1,07	1,04	1,00	0,97	0,94
25 %	1,20	1,15	1,11	1,07	1,03	1,00	0,97
30 %	1,24	1,19	1,15	1,11	1,07	1,03	1,00

reductiefactoren verkeerssamenstelling bij een pae factor van 1,9

van % vrachtverkeer	naar % vrachtverkeer (bij een pae factor van 1,9)						
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
0 %	1,00	0,96	0,92	0,88	0,85	0,82	0,79
5 %	1,05	1,00	0,96	0,92	0,89	0,85	0,82
10 %	1,09	1,04	1,00	0,96	0,92	0,89	0,86
15 %	1,14	1,09	1,04	1,00	0,96	0,93	0,89
20 %	1,18	1,13	1,08	1,04	1,00	0,96	0,93
25 %	1,23	1,17	1,12	1,08	1,04	1,00	0,96
30 %	1,27	1,22	1,17	1,12	1,08	1,04	1,00

reductiefactoren verkeerssamenstelling bij een pae-factor van 2,0

van % vrachtverkeer	naar % vrachtverkeer (bij een pae factor van 2,0)						
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
0 %	1,00	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,77
5 %	1,05	1,00	0,95	0,91	0,88	0,84	0,81
10 %	1,10	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88	0,85
15 %	1,15	1,10	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88
20 %	1,20	1,14	1,09	1,04	1,00	0,96	0,92
25 %	1,25	1,19	1,14	1,09	1,04	1,00	0,96
30 %	1,30	1,24	1,18	1,13	1,08	1,04	1,00

reductiefactoren verkeerssamenstelling bij een pae-factor van 2,2

van % vrachtverkeer	naar % vrachtverkeer (bij een pae factor van 2,2)						
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
0 %	1,00	0,94	0,89	0,85	0,81	0,77	0,74
5 %	1,06	1,00	0,95	0,90	0,85	0,82	0,78
10 %	1,12	1,06	1,00	0,95	0,90	0,86	0,82
15 %	1,18	1,11	1,05	1,00	0,95	0,91	0,87
20 %	1,24	1,17	1,11	1,05	1,00	0,95	0,91
25 %	1,30	1,23	1,16	1,10	1,05	1,00	0,96
30 %	1,36	1,28	1,21	1,15	1,10	1,05	1,00

reductiefactoren verkeerssamenstelling bij een pae-factor van 2,5

van % vrachtverkeer	naar % vrachtverkeer (bij een pae factor van 2,5)						
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
0 %	1,00	0,93	0,87	0,82	0,77	0,73	0,69
5 %	1,08	1,00	0,93	0,88	0,83	0,78	0,74
10 %	1,15	1,07	1,00	0,94	0,88	0,84	0,79
15 %	1,23	1,14	1,07	1,00	0,94	0,89	0,84
20 %	1,30	1,21	1,13	1,06	1,00	0,95	0,90
25 %	1,38	1,28	1,20	1,12	1,06	1,00	0,95
30 %	1,45	1,35	1,26	1,18	1,12	1,05	1,00

Bijlage J Verificatie capaciteitswaarden weefvakken en WIU

Veel van de capaciteitswaarden voor weefvakken in dit Handboek (paragraaf 3.2 en bijlage D en E) zijn gebaseerd op modelsimulaties met FOSIM. Binnen de kenmerken van weefvakken (configuratie, lengte van het weefvak, omvang wevende stromen, etc.) is veel variatie mogelijk. Naast dat het in de praktijk kostbaar is om (langdurig) de omvang van wevende stromen op weefvakken te meten, is het ook niet mogelijk om van alle belangrijke combinaties van weefvakken kenmerken geschikte meetlocaties te vinden.

In de afgelopen jaren zijn er wel meerdere capaciteitsmetingen uitgevoerd van weefvakken, inclusief een meting van de omvang van de wevende verkeersstromen (Arcadis 2013, Bijlage D). Ook zijn er de afgelopen jaren meerdere metingen uitgevoerd bij Werk in Uitvoering (Arcadis 2013, Bijlage C, Arcadis 2015a, Arcadis 2016, Arcadis 2019b).

In deze Bijlage worden deze gemeten capaciteitswaarden afgezet tegen de (bandbreedte van) capaciteitswaarden zoals deze in Hoofdstuk 5 en Bijlage C en D van dit Handboek CIA zijn opgenomen. Alle gemeten capaciteitswaarden zijn daarbij op basis van een pae-factor van 2,0 omgerekend naar 15% vrachtverkeer.

Voor de weefvakken geldt dat bij een deel van de bemeten locaties er gebruik wordt gemaakt van de capaciteit zoals deze met de product-limietmethode is gemeten. Bij een ander deel leverde deze methode voor een beperktere meetperiode geen goede resultaten op. Voor deze locaties is er daarom een inschatting gemaakt op basis van de in een basisdiagram (intensiteit vs. snelheid) uitgezette metingen. Voor deze laatste groep is er daarom een verwachte bandbreedte weergegeven waarbinnen de capaciteit naar schatting valt.

Bij de locaties voor werk in uitvoering wordt de afrijcapaciteit weergegeven (conform Hoofdstuk 5). De afrijcapaciteit is hierbij gemeten met behulp van de empirische verdelingsfunctie.

Weefvak 2+2 > 2+2

	H2>B1	H1>B2	Vrije capaciteit
A27 Rijnsweerd-Lunetten	38	47	5.750-6.750
A27 knp Lunetten-knp Rijnsweerd	72	55	6.250-6.750
Gemiddeld			5.750-6.750
Capaciteit CIA (bandbreedte)			5.420 – 7.690

De gemeten capaciteit van de symmetrische 2+2 weefvakken ligt binnen de bandbreedte die de FOSIM-simulaties laten zien.

Weefvak 2+1 > 2+1

	H2>B1	H1>B2	Vrije capaciteit
A59 's-Hertogenbosch-Oss	--	--	6.000-7.000
Gemiddeld			6.000-7.000
Capaciteit CIA (bandbreedte)			5.420 – 7.690

De gemeten capaciteit van het symmetrische 2+1 weefvak ligt binnen de bandbreedte die de FOSIM-simulaties laten zien.

Weefvak 3+1 > 3+1

	H2>B1	H1>B2	Vrije capaciteit
A15 Weefvak Groene Kruisweg-Portland	--	--	7.292
A10 Ring Zuid Watergraafsmere-knp Amstel	--	--	6.263
Gemiddeld			6.778
Capaciteit CIA (bandbreedte)			6.530 – 7.520

De gemeten capaciteit van de symmetrische 3+1 weefvakken ligt binnen de bandbreedte die de FOSIM-simulaties laten zien. Er is wel veel spreiding tussen de twee gemeten 3+1 weefvakken, waarbij 1 weefvak onder de bandbreedte van het CIA ligt.

Weefvak 3+2 > 3+2

	H2>B1	H1>B2	Vrije capaciteit
A16 knp Terbregseplein-knp Ridderkerk	59	79	6.750-7.200
A16 knp Ridderkerk-knp Terbregseplein	50	52	6.250-7.200
Gemiddeld			6.250-7.200
Capaciteit CIA (bandbreedte)			6.530 – 7.520

De gemeten capaciteit van de symmetrische 3+2 weefvakken liggen binnen de bandbreedte die de FOSIM-simulaties laten zien.

Weefvak 2+2 > 3+1

	H2>B1	H1>B2	Vrije capaciteit
A20 Hoek van Holland-Rotterdam			5.857
Gemiddeld			5.857
Capaciteit CIA (bandbreedte)			6.370 – 8.300

De gemeten capaciteit van het asymmetrische 2+2 > 3+1 weefvak ligt lager dan de bandbreedte die de FOSIM-simulaties laten zien. De 80-km zone heeft hier mogelijk een invloed op de afwikkeling op het weefvak.

Weefvak 3+1 > 2+2

	H2>B1	H1>B2	Vrije capaciteit
A6 Muiderberg-Almere	79	43	4.500-5.500
A1 Diemen-Muiderberg	--	--	6.132
A12 hrr Voorburg -> Pr. Clauspln	--	--	6.322
A12 Den Haag-Utrecht (80km/h)	--	--	5.600
Gemiddeld			6.018
Capaciteit CIA (bandbreedte)			5.930 – 7.240

De gemiddeld gemeten capaciteit van de asymmetrische 3+1 > 2+2 weefvakken ligt binnen de bandbreedte die de FOSIM-simulaties laten zien.

WIU 1 rijstrook

	Type locatie	Afrijcapaciteit
A12 knp Grijsoord-knp Lunetten	WIU (alleen rijstrook 1)	918
A12 knp Grijsoord-knp Lunetten	WIU (alleen vluchtstrook)	895
A16 HRR Moerdijkbrug	WIU 1 rijstrook	1.205
A16 HRL K.polder - Moerdijk	WIU 1 rijstrook	1.179
Gemiddeld		1.049
Capaciteit CIA		1.300-1.500

De gemeten capaciteitswaarden liggen iets lager dan in het CIA is opgenomen. De metingen zijn allemaal wel gedurende slechts korte periode uitgevoerd.

WIU 2 rijstroken zonder vluchtstrook

	Type locatie	Afrijcapaciteit
A2 Maastricht-Eindhoven	(2 rijstroken 3,5 m)	3.446
A58 Tilburg-Eindhoven	(2 rijstroken 3,5 m)	3516
A12 Li Arnhem - Utrecht bij afrit Wageningen	Afzetting vluchtstrook	3.452
A12 Re Arnhem - Utrecht bij afrit Wageningen	Afzetting vluchtstrook	3.221
A12 Re Arnhem - Utrecht bij afrit Wageningen	Afzetting vluchtstrook	3.198
Gemiddeld		3.367
Capaciteit CIA versie 4		3.600
Capaciteit CIA (nieuw)		3.400

De gemiddeld gemeten capaciteitswaarden komen liggen lager dan de capaciteitswaarde in Handboek CIA versie 4. De capaciteitswaarde voor een vluchtstrookafzetting zonder breedtebeperking is in deze versie 4.5 daarom aangepast naar 3.400 mvt/h.

WIU 2 versmalde rijstroken

	Type locatie	Afrijcapaciteit
A12	WIU 2 versmalde rijstroken	2.703
A12 PBR Galecopperbrug	WIU 2 versmalde rijstroken	3.321
A9 Beverwijk-Alkmaar	WIU versmalde rijstroken (2.85 en 2.50 m)	3.500
Gemiddeld		3.175
Capaciteit CIA		3.200

De gemiddeld gemeten capaciteitswaarden is vergelijkbaar met de in het Handboek CIA versie 3 en 4 opgenomen waarde. Er is veel spreiding tussen de metingen, overeenkomend met de opmerkingen uit Hoofdstuk 5 dat er een grote spreiding ten opzichte van de vermelde waardes kan optreden.

WIU 3 versmalde rijstroken

	Type locatie	Afrijcapaciteit
A2 's-Hertogenbosch-Eindhoven	WIU (rechts 3 versmalde rijstroken)	4.092
A12	WIU 3 versmalde rijstroken	4.164
A2	WIU 3 versmalde rijstroken	4.809
A12 HRL Galecopperbrug	WIU 3 versmalde rijstroken	4.142
A12 HRR Galecopperbrug	WIU 3 versmalde rijstroken	4.345
A4 HRR Zouterwoude-Rijndijk	WIU 3 versmalde rijstroken en 80rr	4.393
Gemiddeld		4.324
Capaciteit CIA	Op basis van 4-2 systeem	4.300

De gemiddeld gemeten capaciteitswaarden is vergelijkbaar met de in het CIA opgenomen waarde.

WIU 3-1 systeem

	Type locatie	Afrijcapaciteit
A50	WIU 3-1 systeem (niet-verschoven richting 2x 3,50m)	3.065
A2	WIU 3-1 systeem (verschoven richting, 2.75 en 3.25m)	2.656
A50	WIU 3-1 systeem (verschoven richting, 2.85 en 3.30m)	2.688
Gemiddeld		2.672
Capaciteit CIA	niet-gesplitse richting	3.400
Capaciteit CIA	gesplitse richting	3.000

De gemeten capaciteitswaarden liggen ongeveer 300 mvt/h lager dan de in het CIA opgenomen waarden. De rijstrookbreedtes van de bemeten locaties waren wel iets krappert dan de referentiewaarden in het CIA.

WIU 4-0 systeem

	Type locatie	Afrijcapaciteit
A2 Utrecht-Eindhoven	WIU4-0 systeem (verschoven richting, 2x 3.25m)	3.256
A12	WIU 4-0 systeem (verschoven richting, 3.00 en 3.25m)	3.374
Gemiddeld		3.315
Capaciteit CIA	3,00m en 3,25m	3.400

De gemiddeld gemeten capaciteitswaarden is vergelijkbaar met de in het CIA opgenomen waarde.

WIU 4-2 systeem

		Type locatie	Afrij- capaciteit
		WIU 4-2 systeem	
A28	(niet verschoven richting, 3.00, 3.20, 3.50m)		4.811
		WIU 4-2 systeem	
A16	(niet verschoven richting, 3.25, 3.25 en 3.50m)		4.643
		WIU 4-2 systeem	
A28	(verschoven richting, 3.00, 3.00 en 3.50m)		4.062
A16 Rotterdam- Breda	WIU 4-2 systeem (verschoven richting, 3.00, 3.00 en 3.25m))		3.529
Gemiddeld		Niet-gesplitste richting	4.727
		Gesplitste richting	3.796
Capaciteit CIA	niet-gesplitse richting (smaller dan metingen)		4.500
Capaciteit CIA	gesplitse richting (smaller dan metingen)		4.300

De gemeten waardes liggen voor de niet-gesplitste richting van het 4-2 systeem iets hoger dan de waardes in het CIA. De metingen betreffen wel een iets ruimere uitvoering van de rijstrookbreedtes dan de waarde uit Hoofdstuk 5. De gesplitste richting kent daarentegen een lagere meetwaarde dan in dit CIA is opgenomen.