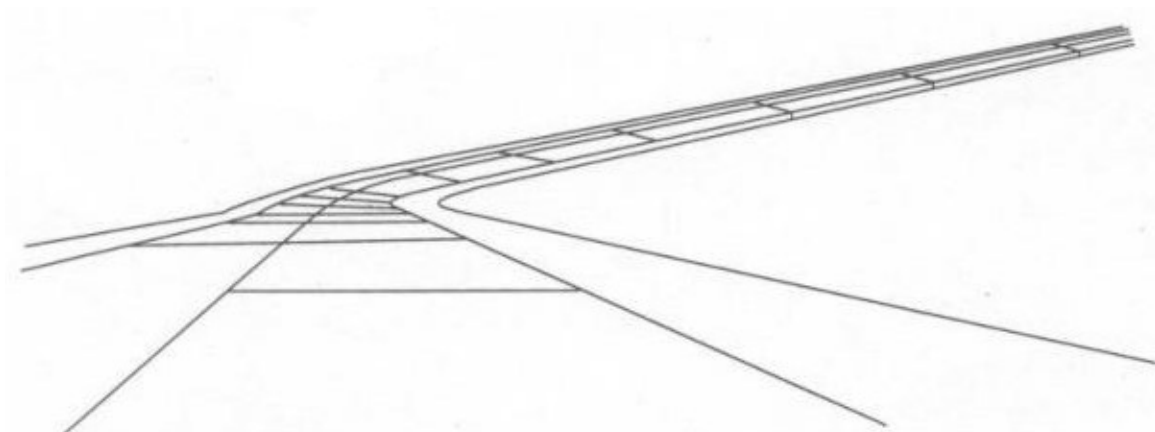




Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen 2019

ROA2019

Datum	21 oktober 2019
Status	Definitief
Type standaard	Functioneel kader



Colofon

Uitgegeven door	Rijkswaterstaat
Informatie	Johan Vos
E-mail:	johan.vos@rws.nl

Uitgevoerd door	Rijkswaterstaat GPO m.m.v. Witteveen + Bos
-----------------	--

Datum	21 oktober 2019
Status	Definitief
Versienummer	1.0
Type standaard	Functioneel kader

Inhoud

1	Inleiding—8
1.1	Richtlijn en beleid—8
1.2	Toepassingsgebied—8
1.3	Opbouw van de Richtlijn—9
1.4	Wijzigingen—9
2	Netwerk—11
3	Traject—12
3.1	Functie van de snelweg—12
3.2	Autosnelweg en Stadsautosnelweg—12
3.3	Parallelstructuren—13
4	Tracé—14
4.1	Typen rijbanen—14
4.2	Basis voor dimensionering—16
4.2.1	Hoofdbanen—16
4.2.2	Niet-hoofdbanen—16
4.3	Knooppunten—18
4.3.1	Afweging knooppuntvorm—19
4.3.2	Vierarmige knooppunten—20
4.3.3	Driearmige knooppunten—22
4.3.4	Knooppunt tussen autosnelweg en regionale stroomweg—24
4.3.5	Knooppunt nabij een aansluiting—24
4.4	Aansluitingen—25
4.4.1	Standaardconfiguraties aansluitingen—25
4.4.2	Structuur van de kruisende wegen—27
4.4.3	Afwikkeling op de aansluiting—28
4.4.4	Inpassing van de aansluiting—29
4.5	Parallelstructuur—29
4.6	Capaciteit—30
4.6.1	Capaciteitsgrootheden—31
4.6.2	Rijbaan in continue situaties—33
4.6.3	Verbindingswegen—34
4.6.4	Invoeging—35
4.6.5	Uitvoeging—36
4.6.6	Samenvoeging—38
4.6.7	Splitsing—40
4.6.8	Weefvak—43
4.6.9	Strookbeëindiging—45
4.6.10	Extra rijstrook—46
4.6.11	Correctiefactoren voor capaciteit onder niet-ideale omstandigheden—46
4.7	Complexiteit—47
5	Wegvak—48
5.1	Zicht—48
5.1.1	Anticipatiezicht—51
5.1.2	Wegverloopzicht—53

5.1.3	Stopzicht—54
5.1.4	Waarnemen, inschatten en herkennen van horizontale bogen—57
5.1.5	Zicht op invoegend of wevend verkeer—60
5.1.6	Zicht op een rijstrookbeëindiging—61
5.2	Horizontaal alignement—62
5.2.1	Horizontale rechtstand—62
5.2.2	Horizontale boog—63
5.2.3	Overgangsboog—68
5.3	Verticaal alignement—71
5.3.1	Verticale rechtstand—72
5.3.2	Bolle boog—74
5.3.3	Holle boog—77
5.4	Dwarsprofiel—78
5.4.1	Algemeen—78
5.4.2	Rijbaan—82
5.4.3	Rijstrook—83
5.4.4	Vluchtstrook—84
5.4.5	Redresseerstrook—85
5.4.6	Invoegstrook, uitrijstrook, weefstrook—86
5.4.7	Lengtemarkering—87
5.4.8	Bochtverbreding—87
5.4.9	Vluchtruimte en bergingszone—89
5.4.10	Normaal dwarsprofielen rijbanen—91
5.4.11	Middenberm—93
5.4.12	Buitenberm—94
5.4.13	Tussenberm—96
5.4.14	Talud—96
5.4.15	Principe dwarsprofiel—97
5.5	Dwarshelling, ruimtelijke helling en afwatering—97
5.5.1	Afschot—98
5.5.2	Verkanting—98
5.5.3	Verkantingsovergang—99
5.5.4	Ruimtelijke helling—103
5.5.5	Afwatering—103
5.6	Wegbeeld—105
5.6.1	Holle bogen bij onsamenvangend wegbeeld—106
5.6.2	Ruimtelijk alignement—107
5.6.3	Fouten in het ruimtelijk alignement—110

6 Discontinuïteit—116

6.1	Algemene ontwerpparameters discontinuïteiten—116
6.1.1	Acceleratielengte—116
6.1.2	Deceleratielengte—119
6.1.3	Puntstuk—121
6.1.4	Gaping—122
6.1.5	Spreiding van discontinuïteiten—123
6.1.6	Turbulentieafstand en turbulentielengte—123
6.1.7	Bewegwijzeringsafstanden—126
6.1.8	Relatie tot horizontaal alignement—127
6.2	Invoeging—127
6.2.1	Standaardoplossingen—128
6.2.2	Onderdelen—128
6.3	Uitvoeging—129
6.3.1	Standaardoplossingen—129

- 6.3.2 Onderdelen—130
- 6.4 Samenvoeging—133
- 6.5 Splitsing—135
- 6.6 Weefvak—137
- 6.6.1 Gelijkwaardigheid van de verkeersstromen—139
- 6.6.2 Standaardoplossingen—140
- 6.7 Strookbeëindiging—142
- 6.8 Extra rijstrook—143

7 Aankleding—145

- 7.1 Afschermingsvoorzieningen—145
- 7.2 Bewegwijzering, bebording en bebakening—145
 - 7.2.1 Bewegwijzering—146
 - 7.2.2 Bebording—146
 - 7.2.3 Bebakening—146
 - 7.2.4 Openbare verlichting—147
- 7.3 functies—147
- 7.4 DVM-voorzieningen—148
- 7.5 Geluidsreducerende constructies—148

8 Overkappingen en verdiepte liggingen—150

- 8.1 Afstand tot wanden—150
- 8.2 Verticale holle bogen—150
- 8.3 Wegbeeld—151

9 Tunnels—153

- 9.1 Overeenkomsten tussen tunnels en standaard wegvakken—153
- 9.2 Verschillen tussen tunnels en standaard wegvakken—153
 - 9.2.1 Dwarsprofiel—154
 - 9.2.2 Zichtlengte—156
 - 9.2.3 Horizontale bogen—157
 - 9.2.4 Verticaal alignement—159
 - 9.2.5 Profiel van vrije ruimte—161
 - 9.2.6 Convergentie- en divergentiepunten—162
 - 9.2.7 Afschermingsvoorzieningen—165
- 9.3 Wegbeeld—165

Bijlage Begrippenlijst—167

1 Inleiding

Voor u ligt de Richtlijn voor het Ontwerpen van Autosnelwegen in Nederland.

Bij het opstellen van deze Richtlijn is uitgegaan van een duidelijke ontwerpfilosofie. Het uitgangspunt hierbij is het voorschrijven van een basiskwaliteit voor autosnelwegen. Deze basiskwaliteit wordt verkregen door een zodanige dimensionering van de weg dat de doorstroming, de verkeersveiligheid en de begripbaarheid gewaarborgd zijn, volgens de integrale benadering vanuit Duurzaam Veilig: weg - voertuig – mens. Hierbij dient de omgeving, zoals weg en het voertuig, aan te sluiten bij wat een mens kan en dient deze ondersteuning en bescherming te bieden. Hiervoor zijn in deze Richtlijn de gewenste niveaus voor verkeersveiligheid en doorstroming vertaald naar een gewenste maatvoering. Zodoende kan worden gesteld dat een bepaalde maatvoering leidt tot een gewenst niveau voor verkeersveiligheid en doorstroming. Deze maatvoering is de kern van deze Richtlijn.

De opzet van de Richtlijn heeft als speerpunt het geven van duidelijkheid aan de ontwerper. Daarnaast moet de Richtlijn kunnen dienen als bindend document tussen Rijkswaterstaat en een (ontwerpende) opdrachtnemer binnen de verschillende contractvormen. In dit kader is het van belang dat de Richtlijn ondubbelzinnig en duidelijk van aard is. Daarom is gekozen om een standaardmaatvoering te kiezen voor alle ontwerpcomponenten. Het toepassen van deze standaardmaatvoering voor de verschillende ontwerpcomponenten moet leiden tot een ontwerp dat in zijn geheel voldoet aan de gewenste basiskwaliteit.

In alle reguliere situaties dient de standaardmaatvoering toegepast te worden om de gewenste kwaliteit te waarborgen. In de richtlijn wordt de informatie gegeven die noodzakelijk is om te komen tot een kwalitatief goed ontwerp, op basis van de standaardmaatvoering. En worden de achterliggende theorieën en onderbouwingen weergegeven. Het proces om te komen tot een goed wegontwerp is beschreven in het "Kader Wegontwerpproces", waarin het Elementair Ontwerp wordt benoemd als een ontwerp waarbij alleen de ontwerprichtlijnen het uitgangspunt zijn voor het geometrisch ontwerp.

1.1 Richtlijn en beleid

Bij het opstellen van deze Richtlijn is gekozen om een beleid neutrale ontwerprichtlijn op te stellen, geoptimaliseerd vanuit de speerpunten doorstroming en verkeersveiligheid. In het ontwerpproces van autosnelwegen kunnen ontwerpkeuzes echter worden beïnvloed door bepaald beleid dat wordt gevoerd, waarbij gekozen wordt om af te wijken van de Richtlijn. Dit beleid kan op diverse niveaus ingrijpen, van bijvoorbeeld de categorisering en het tracé van autosnelwegen tot bijvoorbeeld het verhogen van de maximumsnelheid naar 130 km/u. Omdat beleid aan wijzigingen onderhevig is, is gekozen om beleidsaspecten voor de lage abstractieniveaus uit de Richtlijn te houden, en de richtlijn op deze niveaus puur te baseren op de genoemde speerpunten.

1.2 Toepassingsgebied

Deze richtlijn is uitsluitend van toepassing op het ontwerp van nationale stroomwegen (autosnelwegen) en vervangt de Richtlijn Ontwerp Autosnelwegen 2017 (RWS, 27 november 2017).

Conform de Uitvoeringsvoorschriften BABW inzake verkeerstekens mag aan een weg de status van nationale stroomweg worden gegeven wanneer:

- de lengte van het als nationale stroomweg aangeduide weggedeelte minimaal 2,5 km bedraagt;

- de weg gelegen is buiten de bebouwde kom en de doorgaande rijbaan is aangewezen als voorrangsweg;
- de weg ongelijkvloerse kruisingen, gescheiden rijbanen en vloeiend verlopende toe- en afritten heeft.

Deze ROA is van toepassing:

- bij de aanleg van nieuwe en reconstructie (zoals verbreding, vervanging van de gehele asfaltconstructie, daar waar de vormgeving van de rijbaan wordt veranderd, etc.) van bestaande nationale stroomwegen;
- voor hoofd-, parallel- en rangeerbanen en verbindingswegen in knooppunten en aansluitingen (exclusief kruispunten met het gebiedsontsluitingswegen) van nationale stroomwegen;
- voor permanente situaties;
- voor tijdelijke situaties voor zover de vigerende richtlijnen aangaande maatregelen ten tijde van wegwerkzaamheden op rijkswegen en aanverwante CROW-richtlijnen daarin niet voorziet.

Op elke moment binnen het ontwerpproces van nationale stroomwegen is de vigerende richtlijn is van toepassing: onderzoek, verkenning, planuitwerking en realisatie.

Voor het ontwerp van autosnelwegen met een spitsstrook wordt verwezen naar de richtlijn 'Ontwerp en Inrichting spitsstroken' (Rijkswaterstaat, mei 2017).

Op wegen die deel uitmaken van het E-wegennet is de European Agreement on Main International Traffic Arteries (AGR, 1975) van toepassing. Daar waar de ROA uitgaat van ruimere maatvoering dan de AGR, dient de ROA toegepast te worden.

Deze publicatie is vastgesteld als functioneel kader conform de Werkwijzer Rijkswaterstaat. Pas na onderzoek en zorgvuldige weging van alternatieven dient de gebruiker het voorstel tot afwijken ter acceptatie voor te leggen aan de dossierhouder bij GPO en vervolgens in te dienen bij de proceseigenaar Aanleg en Onderhoud en/of Directeur Generaal van Rijkswaterstaat.

1.3 Opbouw van de Richtlijn

De planvoorbereidingsfase heeft volgens de SE-systematiek een top-down benadering, waarbij een product, vraagspecificatie en ontwerpproces van grof naar fijn worden opgezet.

Om hier goed op aan te sluiten, is de structuur van de Richtlijn voor het Ontwerpen van Autosnelwegen eveneens op een dergelijke wijze ingedeeld. In de Richtlijn is zodoende de volgende structuur aangehouden:

- netwerk;
- traject;
- tracé;
- wegvak;
- discontinuïteit;
- aankleding.

1.4 Wijzigingen

De volgende wijzigingen zijn ten opzichte van de ROA2017 in deze versie opgenomen:

- De maatvoering van hoofdbanen is losgekoppeld van ontwerpssnelheden en gebaseerd op geautomatiseerd handelen van de weggebruiker, zie paragraaf 4.2 voor een toelichting;
- Er is een korte toelichting ten aanzien van complexiteit opgenomen;
- De onderbouwing en maatvoering van turbulentie en weefvakken is aangepast op basis van recent onderzoek;

- Toevoeging standaard figuur beëindiging vluchtstrook voor een tunnel;
- maatvoering obstakelvrije taluds wordt verwezen naar ROA VIB;
- Eisen aan de op te nemen elementen in het principedwarsprofiel;
- Eisen ten aanzien van verkantingswentelingen zijn aangepast om bij brede rijbanen te voorkomen dat de minimale wenteling groter is dan de maximale;
- Concretisering van en nadere toelichting op verschillende onderwerpen ten behoeve van eenduidigere toepassing van de ROA.

2 Netwerk

Een wegennetwerk is het geheel van verbindingen tussen de verschillende herkomst- en bestemmingsgebieden in en buiten Nederland. De eisen en ambities van de Rijksoverheid voor dit netwerk als geheel zijn voor verschillende thema's vastgelegd in verschillende documenten. Het gaat daarbij onder andere over mobiliteit, robuustheid en verkeersveiligheid.

Deze documenten beschrijven de beleidsaspecten die gelden voor het gehele wegennetwerk. Voorliggend document gaat in op het Nederlandse autosnelwegennetwerk, als onderdeel van het Nederlandse hoofdwegennet, en geeft een vertaling van de verschillende beleidsaspecten naar technische richtlijnen voor autosnelwegen.

Beleid in het algemeen wordt beïnvloed door voortschrijdend inzicht en politieke keuzes. Wanneer er ontwerpkeuzes op netwerkniveau worden gemaakt, is het essentieel dat wordt nagegaan of het ontwerp aan het vigerende beleid voldoet. Er is vigerend beleid op het gebied van mobiliteit, verkeersveiligheid en aansluitingen.

Topkader robuust wegontwerp

Het topkader robuust wegontwerp draagt bij aan het op uniforme en efficiënte wijze wegen en wegaanpassingen te realiseren gericht op een robuust en samenhangend wegennet voor vlot en veilig verkeer (borging netwerkwaliteit). Het topkader geeft het overzicht van de bestaande beleidskaders en maakt de samenhang tussen de beleidskaders en inhoudelijke ontwerprichtlijnen inzichtelijk. Verder zijn de volgende basisprincipes opgenomen:

- Ontwerpkennis en kaders dienen vanaf de voorkant in alle fasen van wegprojecten worden geborgd;
- De door RWS vastgestelde ontwerprichtlijnen dienen te worden nageleefd;
- Ontwerpafwijkingen dienen door RWS-deskundigen te worden beoordeeld en binnen het project te worden opgelost; lukt dat niet binnen de scope, dan zal de oplossingsruimte op netwerkniveau moeten worden gevonden.

Het topkader is simultaan met het kader verkeersveiligheid ontwikkeld.

3 Traject

Een traject is een autosnelweg binnen het totale netwerk, of een combinatie van enkele delen van meerdere autosnelwegen. Het autosnelwegennetwerk is zodoende te verdelen in verschillende trajecten. Bij de verdeling in trajecten wordt gekeken naar de (grote) doorgaande stromen, zodat een traject overeenkomt met een belangrijke doorgaande route voor grote aandelen verkeer. Veelal komt een traject overeen met één routenummer, bijvoorbeeld A1.

De keuzes op netwerkniveau gelden als randvoorwaarden voor het trajectniveau. Het trajectniveau is het meest gedetailleerde beleidsniveau en geldt daarmee als basis voor het ontwerpproces, dat van toepassing is op het onderliggende detailniveau: het tracéniveau. De belangrijkste (beleids)variabelen op trajectniveau zijn:

- wegcategorie Autosnelweg of Stadsautosnelweg¹, aansluitend op netwerkvisie;
- (locatie van) aansluitingen op het onderliggende wegennet.

Reeds op trajectniveau is het van belang na te denken over ontwerpimplicaties van beleidsmatige keuzes voor een traject. Voorkomen moet worden dat er keuzes worden gemaakt die het verdere ontwerpproces vanaf tracéniveauodeloos complex (duur) maken. Indien dit risico bestaat, is het raadzaam om vanaf het begin van de planstudie of verkenning reeds een ervaren ontwerper te betrekken. Daarnaast is het van belang dat vanuit het ontwerpproces vroegtijdig de implicaties van beleidsmatige keuzes in termen van beleidseffecten (veiligheid, doorstroming en milieu) en kosten worden teruggekoppeld naar de beleidsbeslissers.

3.1 Functie van de snelweg

De functie van de snelweg kan als volgt worden omschreven: "Veilig en vlot verplaatsen door middel van een grote voorspelbaarheid". Hieruit zijn de volgende deelfuncties te onderscheiden:

- Veilig: voldoende ruimte bieden aan het snel rijdend verkeer en vloeiende uitwisseling;
- Vlot: voldoende afwikkelcapaciteit, met hoge snelheid (hoger dan niet autosnelwegen);
- Grote voorspelbaarheid: kunnen rijden op basis van geautomatiseerde handelingen en zonder al te veel complexe situaties tegen te komen. Dit kan alleen bij een hoge mate van voorspelbaarheid door middel van uniformiteit en/of herkenbaarheid (self explaining road). Het betekent ook een vloeiende vormgeving, zodat er geen onverwacht krappe elementen worden aangeboden aan de wegebruiker.

Daarnaast wordt de snelweg gekoppeld aan Duurzaam Veilig als de hoogste categorie van stroomwegen. Daarbij wordt stromen als volgt gedefinieerd:

- Stromen: zich doelgericht verplaatsen of (als bestuurder) voertuigen doen voortbewegen, in een min of meer constante richting en met een min of meer constante (relatief hoge) snelheid.

3.2 Autosnelweg en Stadsautosnelweg

Binnen een traject wordt onderscheid gemaakt worden tussen Autosnelwegen en Stadsautosnelwegen. De Autosnelweg is het standaardtype snelweg, met een functie voor hoofdzakelijk lange afstandsverkeer. Naast de Autosnelweg bestaat een tweede categorie: de Stadsautosnelweg. Stadsautosnelwegtrajecten worden gekenmerkt door een belangrijke functie voor het lokale en regionale verkeer, een functie die in sommige gevallen belangrijker kan zijn dan het afwikkelen van het lange afstandsverkeer.

¹ De notaties Autosnelweg en Stadsautosnelweg (met hoofdletter) verwijzen naar de categorisering zoals beschreven in paragraaf 3.1. Er is een onderscheid in ontwerpsnelheid en (hierdoor) vormgeving. Beide categorieën vallen onder de generieke term autosnelweg (zonder hoofdletter). Dit zijn alle wegen waarvan het ontwerp gebaseerd is op deze Richtlijn.

De Stadsautosnelweg gaat door een gebied met veel herkomsten en bestemmingen, en wordt daarom gekenmerkt door een grote aansluitingsdichtheid. Een ander belangrijk kenmerk is dat de wegomgeving een duidelijk stedelijk karakter heeft door de nadrukkelijke aanwezigheid van bebouwing of andersoortige stedelijke objecten. Deze wegomgeving moet voor de weggebruiker duidelijk herkenbaar zijn, zodat de Stadsautosnelweg met bijbehorende vormgeving aansluit bij het verwachtingspatroon van de weggebruiker.

Het type autosnelweg is een belangrijk onderscheid bij het ontwerp van autosnelwegen. Aan Stadsautosnelwegen worden op beleidsniveau afwijkende eisen gesteld aan het ontwerp, hetgeen afwijkende uitgangspunten geeft voor het ontwerpproces.

Toepassing

Het toepassen van een Autosnelweg heeft altijd de voorkeur boven het toepassen van een Stadsautosnelweg. Daarnaast moet een Stadsautosnelweg een logisch onderdeel zijn binnen het netwerk, gezien vanuit de netwerkvisie. De keuze voor het toepassen van een Stadsautosnelweg moet daarom zorgvuldig worden afgewogen en gedegen worden onderbouwd. De belangrijkste criteria hierin zijn functie binnen het netwerk (netwerkvisie), doorstroming en veiligheid.

Door het toepassen van meerdere wegcategorieën bestaat de mogelijkheid dat er een lappendeken aan wegcategorieën ontstaat. Dit is ongewenst. Daarom geldt een minimale wegvaklengte van 5 km waarvoor de categorie Stadsautosnelweg geldt. Binnen het Nederlandse hoofdwegenet zijn de volgende rijkswegen als Stadsautosnelweg gecategoriseerd²:

- A2 Maastricht;
- A9 Gaasperdammerweg;
- A10 Ring Amsterdam;
- A12 Den Haag Utrechtsebaan;
- A20 Ring-noord Rotterdam.

Een alternatief voor de toepassing van een Stadsautosnelweg is een systeem van hoofd- en parallelbanen, zoals dat is toegepast op de A2 en A12 bij Utrecht en Eindhoven en de A16 bij Rotterdam. De hoofdbaan vervult dan de functie voor het lange afstandsverkeer, en is gecategoriseerd als Autosnelweg. De parallelbaan vervult dan de functie voor het regionale verkeer, en kan gezien worden als de Stadsautosnelweg. Een dergelijke oplossing heeft de voorkeur boven autosnelwegen die naast veel regionaal verkeer een grote hoeveelheid lange afstandsverkeer afwikkelen.

3.3

Parallelstructuren

Bij het toepassen van parallelstructuren over langere afstanden moet het verkeerskundig functioneren goed worden beschouwd. Aspecten die daarbij een rol spelen zijn:

- verkeersafwikkeling (waaronder benutting per rijstrook);
- robuustheid van het netwerk;
- flexibiliteit bij kleine en grote incidenten en onderhoud;
- functiescheiding doorgaand en lokaal verkeer;
- hoeveelheid af te wikkelen vrachtverkeer;
- complexiteit (opéénvolging van discontinuïteiten, vergevingsgezindheid bij foute routekeuzes);
- bewegwijzering;
- begripbaarheid voor de weggebruiker (Human Factors);
- inpassing (ruimtebeslag).

Een alternatief voor een parallelstructuur is het toevoegen van capaciteit op de hoofdbaan.

² Niet in alle gevallen is de categorisering als Stadsautosnelweg gezien de functie in het netwerk gewenst.

4 Tracé

Een autosnelwegtraject is opgebouwd uit tracés. Een tracé is een verzameling wegvakken en aansluitingen die binnen het netwerk een duidelijke eenheid vormen, veelal begrensd door knooppunten..

In dit hoofdstuk zijn de verschillende typen (rijbanen binnen de) wegvakken, knooppunten en aansluitingen beschreven. Op dit niveau ligt de belangrijkste basis voor de verdere dimensionering van het geometrisch ontwerp. Daarnaast is een beschrijving gegeven van het ontwerp op hoofdlijnen van knooppunten en aansluitingen. De noodzaak voor het al dan niet toepassen van parallelstructuur tussen deze aansluitingen onderling en/of knooppunten wordt gemaakt op tracéniveau. Daarom wordt het onderwerp parallelstructuur ook in dit hoofdstuk beschouwd.

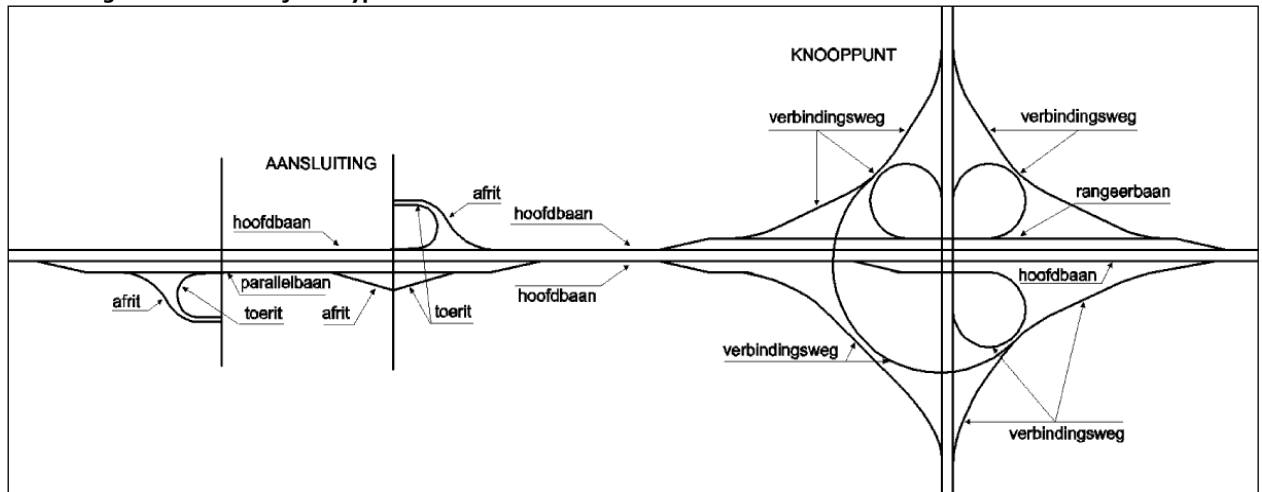
Binnen een tracé is doorgaans een vergelijkbare verkeersbelasting herkenbaar. Daarom dienen de verschillende onderdelen van het tracé qua capaciteit op elkaar afgestemd te worden. Aan het einde van dit hoofdstuk volgt daarom een beschouwing van de capaciteiten van de verschillende typen rijbanen.

4.1 Typen rijbanen

Binnen een tracé zijn verschillende type rijbanen te onderscheiden, zie afbeelding 4.1. De te onderscheiden banen bij autosnelwegen zijn:

- hoofdbaan: een rijbaan voor doorgaand verkeer. Een hoofdbaan zorgt voor continuïteit van de belangrijkste, meestal rechtdoor gaande verkeersstromen;
- rangeerbaan: een rijbaan, niet zijnde hoofdbaan, ter plaatse van een knooppunt of aansluiting, evenwijdig aan een hoofdbaan en beginnend en eindigend op die hoofdbaan, bedoeld voor in- en uitvoegen en weefbewegingen. Een rangeerbaan beperkt zich tot één knooppunt of aansluiting;
- parallelbaan: een rangeerbaan die zich uitstrekt over twee of meer knooppunten en/of aansluitingen;
- verbindingsweg: een rijbaan, niet zijnde een hoofdbaan, rangeerbaan of parallelbaan, die in een knooppunt of bij niet-samenkomende wegen de verbinding vormt tussen twee rijbanen. Een verbindingsweg start bij een discontinuïteit en start aan de rechter zijde van de rijbaan. Binnen een verbindingsweg mag tussen verschillende elementen de ontwerpsnelheid niet meer dan 20 km/u verschillen;
- toerit en afrit: een verbindingsweg die in een aansluiting een verbinding vormt tussen de autosnelweg en het onderliggend wegennet als onderdeel van de autosnelweg.

afbeelding 4.1 Overzicht rijbaantypes



Hoofdbanen zijn bedoeld voor een goede doorstroming en homogeniteit van het doorgaand snelverkeer. Dit houdt in dat het ontwerp moet voorzien in een zo groot mogelijke continuïteit van hoofdbanen. Immers, de uitwisseling van het verkeer met het onderliggende wegennet of met andere autosnelwegen op de hoofdbaan leidt tot turbulentie in de verkeersstroom en daarmee mogelijk tot snelheidsverschillen en verkeersonveiligheid. Indien er sprake is van veel verstoringen op korte afstand is het verstandig een deel van de functies van de hoofdbaan te verplaatsen naar rangeer- of parallelbanen. Dit zorgt voor een meer continue verkeersbeeld op de hoofdbaan.

Ten behoeve van de continuïteit van de hoofdstroom moet verkeer op een doorgaande route met dezelfde snelheid en zonder in- en uitvoegen kunnen doorrijden. Ook mogen doorgaande rijbanen (hoofdbanen en parallelbanen) tussen knooppunten geen verplichte rijstrookwisselingen hebben (met uitzondering van strookbeëindigingen). Wat de doorgaande route is, volgt uit de netwerkvisie; doorgaans gaat het om de route met hetzelfde A-nummer. Indien overgangen in ontwerpsnelheden toch noodzakelijk zijn, bijvoorbeeld bij de overgang van een Autosnelweg naar een Stadsautosnelweg, dienen deze duidelijk herkenbaar te zijn. Bij voorkeur gebeurt dit in knooppunten. Een tweede, minder gewenste, optie is om de overgang te laten samenvallen met een herkenbaar baken, zoals bijvoorbeeld een dominant aanwezig kunstwerk over de snelweg. Een aanpassing van de ontwerpsnelheid moet altijd voor de weggebruiker tot uiting komen in het ontwerp en in de inrichting van de weg.

Knooppunten en (in mindere mate) aansluitingen vormen de verbindingen tussen de verschillende tracés. Deze onderdelen zijn beeldbepalend in het ontwerp van een autosnelweg en dienen zodanig ontworpen te worden dat iedere verkeersstroom een passende verkeersafwikkeling krijgt. De AGR vereist dat knooppunten ongelijkvloers zijn en op verkeersstromen ontworpen zijn.

De overgangen tussen verschillende typen rijbanen zijn discontinuïteiten. Deze zijn een belangrijk aandachtspunt in het ontwerp van de autosnelweg, omdat ze grote invloed hebben op de doorstroming en verkeersveiligheid. In de praktijk geldt dat discontinuïteiten (met name convergerende) vaak werken als bottleneck. Dit dient in het ontwerp zoveel mogelijk te worden voorkomen door de juiste oplossingsvorm en dimensionering toe te passen.

4.2 Basis voor dimensionering

De basis voor de dimensionering ligt voornamelijk in de keuze voor het type rijbaan.

Op hoofdbanen mag de weggebruiker niet verrast worden (zie paragraaf 3.1). Om de rijtaakbelasting van de weggebruiker op een acceptabel niveau te houden en fouten zoveel mogelijk te voorkomen, is het van belang dat de vormgeving van de hoofdbanen zoveel mogelijk aan de verwachting van de weggebruiker voldoet. Daarom zijn de eisen ten aanzien van de dimensionering van de hoofdbanen niet alleen gebaseerd op mechanische eigenschappen, maar vooral gebaseerd op comfort- en verwachtingswaarden. Daarom gelden voor hoofdbanen geen ontwerpsnelheden, maar standaard minimale maatvoeringen die voldoen aan de comfort- en verwachtingswaarden van de weggebruiker. Zo wordt een hoge mate van voorspelbaarheid op hoofdbanen geborgd. Op hoofdbanen kan dus niet (meer) gerekend worden met ontwerpsnelheden.

Op niet-hoofdbanen daarentegen is vaak sprake van rijtaakverzwaring ten opzichte van hoofdbanen. Vanwege keuzemomenten en turbulentie ligt dit in de verwachting van de weggebruiker. Daarmee wordt de snelheid wel een maatgevende eigenschap en gelden op niet-hoofdbanen ontwerpsnelheden als basis voor de dimensionering.

4.2.1 Hoofdbanen

Comfort- en verwachtingswaarden zijn de belangrijkste ontwerpparameters voor hoofdbanen. Comfort en verwachting zijn niet variabel maar gelden generiek. Voor hoofdbanen is daarom gekozen voor standaard (minimale) maatvoering, die niet gekoppeld is aan een ontwerpsnelheid. Op deze manier krijgt de weggebruiker een uniform wegbeeld, dat aansluit op zijn verwachtingen van een hoofdbaan en wordt niet geconfronteerd met krappe elementen waardoor de weggebruiker verrast wordt en plotseling zijn verwachtingen moet bijstellen. Het verhogen van de rijtaakbelasting door verrassende elementen in het wegbeeld past niet binnen de functie van een hoofdbaan.

De maatvoering van hoofdbanen van Autosnelwegen is (historisch gezien) gebaseerd op de ontwerpsnelheid van 120 km/u. De bijbehorende maatvoering blijft gehandhaafd, omdat de meeste tracés op basis van deze ontwerpsnelheid zijn aangelegd en de weggebruikers in Nederland hiermee vertrouwd zijn (herkenbaarheid). Op hoofdbanen van Autosnelwegen worden geen uitzonderingen gemaakt op deze maatvoering. Op hoofdbanen die voldoen aan de standaard (minimale) maatvoering zoals genoemd in alle tabellen in deze ROA kan een maximumsnelheid van 130 km/u worden ingesteld.

Voor doorgaande hoofdbanen op ringwegen en schakels (binnen belangrijke economische gebieden), kan een ontwerpsnelheid, van 90 km/u worden toegepast. Er is dan sprake van een Stadsautosnelweg, waarop wordt ingeboet op comfortwaarden, maar aansluit bij verwachtingswaarden vanuit de hoog urbane omgeving. Op deze wegen kan een maximum snelheid niet hoger dan 100 km/u gelden. Een ontwerpsnelheid van 70 km/u wordt niet toegepast op hoofdbanen.

Een verlaging van het snelheidsregime, bijvoorbeeld een 80 km/u zone, kan wel worden toegepast, waarbij de standaard (minimale) maatvoering van toepassing blijft. Dit heeft echter een duidelijk uitlegbare reden nodig om te blijven aansluiten bij het verwachtingspatroon van de weggebruiker.

4.2.2 Niet-hoofdbanen

Onder de categorie niet-hoofdbanen worden parallelbanen, rangeerbanen, verbindingswegen en toe- en afritten onderscheiden. Deze rijbanen worden allen vormgegeven als (stads)autosnelweg. De ontwerpsnelheid is de belangrijkste ontwerpparameter voor niet-

hoofdbanen. De ontwerpsnelheid is de gekozen voertuigsnelheid die maatgevend is voor de dimensionering van niet-hoofdbanen en de ontwerpelementen hiervan. Met deze snelheid kunnen voertuigbestuurders veilig en comfortabel rijden, mits er geen lagere maximale snelheid voor het soort voertuig is voorgeschreven (zoals voor bussen en vrachtwagens) en ze niet gehinderd worden door het overige verkeer of weersomstandigheden.

De ontwerpsnelheid is een afspiegeling van de snelheid die de meeste bestuurders van nature kiezen, gegeven het wegontwerp. De daadwerkelijke snelheid die bestuurders van nature kiezen wordt ook wel aangeduid met de 85-percentiel snelheid (v_{85}). De v_{85} is een rekenkundige benadering waaruit kan worden afgeleid welke snelheid door niet meer dan 15% van de voertuigen wordt overschreden.

Uit onderzoek³ blijkt dat er sprake is van een verkeersveilig ontwerp zolang het verschil tussen het snelheidsregime en de ontwerpsnelheid niet meer dan 10 km/u bedraagt. Deze 10 km/u verschil is de bovengrens: per rijbaan moet worden beoordeeld of de weg voldoende verkeersveilig is voor een maximumsnelheid boven de ontwerpsnelheid. Dit betekent bijvoorbeeld dat een parallelbaan met een ontwerpsnelheid van 90 km/u afhankelijk van de veiligheidsmarge een maximumsnelheid van 100 km/u krijgt.

Het snelheidsregime kan lager ingesteld worden dan de ontwerpsnelheid. Dit kan bijvoorbeeld wenselijk zijn vanwege omgevingsaspecten (stedelijk gebied, milieu) en/of op locaties met veel turbulenties in de verkeersstroom of veel vrachtverkeer. Daarbij is aandacht nodig voor de verwachting van de weggebruiker en de vraag of de weggebruiker zich ook snelheid ook daadwerkelijk zal aanpassen.

Door de wegelementen consequent op de ontwerpsnelheid te ontwerpen, worden onverwachte situaties voorkomen. Omdat onverwachte situaties kunnen leiden tot abrupte en aanzienlijke snelheidsverschillen, is het continue hanteren van de ontwerpsnelheid uit oogpunt van verkeersveiligheid belangrijk.

Verdeling

De volgende ontwerpsnelheden worden onderscheiden:

- 120 km/u;
- 90 km/u;
- 70 km/u;
- 50 km/u.

De ontwerpsnelheid van parallelbanen is afhankelijk van de functie van deze rijbaan in het netwerk. Indien de parallelbaan een belangrijke functie voor het langeafstandsverkeer vervult, heeft deze rijbaan een ontwerpsnelheid van 120 km/u. In andere gevallen ligt de ontwerpsnelheid maximaal één stap lager dan op de hoofdbaan. Boven een lengte van 5 km moet afgewogen worden of de maatvoering van de hoofdbaan ook op de parallelbaan toegepast moet worden, omdat de parallelbaan boven deze lengte steeds belangrijker wordt voor langeafstandsverkeer. Bovendien ervaart de weggebruiker een dergelijk lange parallelstructuur niet meer als lagere wegcategorie maar als gelijkwaardig aan de hoofdbaan, waardoor hij zijn snelheid gelijk zal houden aan die op de hoofdbaan.

De ontwerpsnelheid van rangeerbanen is één stap lager dan de ontwerpsnelheid van de hoofdbaan, dus 90 km/u voor Autosnelwegen en 70 km/u voor Stadsautosnelwegen (zie paragraaf 3.2).

³ Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook, Lamm, 1999.

tabel 4.1 Ontwerpsnelheid parallelle niet-hoofdbanen

type rijbaan	ontwerpsnelheid	
	parallelbaan	rangeerbaan
niet-hoofdbaan langs doorgaande hoofdbaan Autosnelweg	120 / 90 km/u	90 km/u
niet-hoofdbaan langs doorgaande hoofdbaan Stadsautosnelweg	90 / 70 km/u	70 km/u

De ontwerpsnelheid van verbindingswegen is afhankelijk van het type verbindingsweg (zie ook paragraaf 4.3). Voor directe verbindingswegen geldt een standaard ontwerpsnelheid van 90 km/u, met een ondergrens van 70 km/u. Voor semidirecte verbindingswegen geldt een standaard- en tevens minimumwaarde van 70 km/u. Voor indirecte verbindingswegen wordt een ontwerpsnelheid van minimaal 50 km/u toegepast.

De ontwerpsnelheid op parallel- en rangeerbanen is doorgaans 90 km/u omdat deze banen de functie van uitwisseling tussen verschillende type rijbanen vervullen en voornamelijk gebruikt worden door korte afstandsverkeer. Alleen de parallelbanen met een groot aandeel langeafstandsverkeer kunnen een zelfde maatvoering hebben als de bijbehorende hoofdbaan; het gaat zodoende om de functie die de parallelbaan als onderdeel van het netwerk vervult. De gekozen ontwerpsnelheid leidt tot een rustiger en homogener rijgedrag bij samenvoegingen, splitsingen en in- en uitvoegingen, vermindert het ongevalsrisico in turbulentievakken, verkort de lengte van acceleratie-/deceleratiestroken en reduceert het ruimtebeslag. De ontwerpsnelheid op verbindingswegen, toe- of afritten mag ook 70 km/u of 50 km/u zijn, waardoor de weggebruiker na de uitvoeging en voor de invoeging de voertuigsnelheid geleidelijk kan aanpassen en het risico van kop-staartbotsingen wordt verminderd. De ontwerpsnelheden van 70 km/u en 50 km/u sluiten goed aan bij het alignement van (semi-)directe respectievelijk indirecte verbindingswegen en ondersteunen de inpasbaarheid van compacte knooppuntoplossingen in dichtbebouwde omgeving. Ten aanzien van de ontwerpsnelheden op toe- en afritten wordt verwezen naar paragraaf 5.2.2 (stappentheorie).

4.3

Knooppunten

Een knooppunt is een ongelijkvloers kruispunt van stroomwegen, waartussen uitwisseling mogelijk is^{4,5}. De kruisende autosnelwegen worden onderling met elkaar verbonden door verbindingswegen. Binnen verbindingswegen in knooppunten wordt het volgende onderscheid gemaakt:

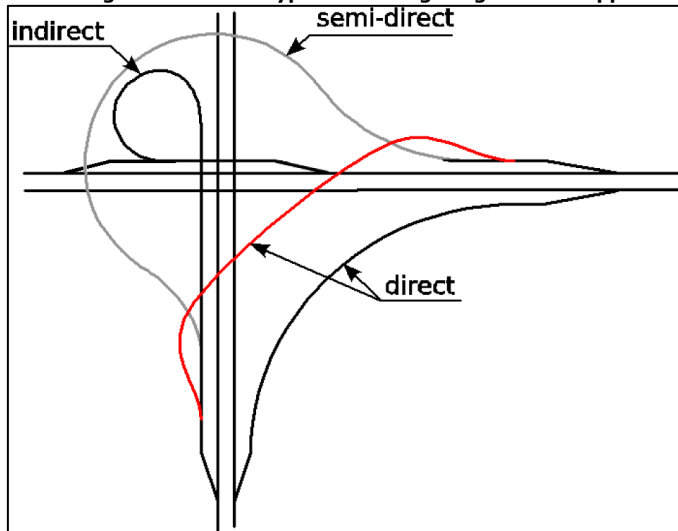
- directe verbindingswegen: verbindingswegen met een kwart draai voorlangs de ongelijkvloers kruisende hoofdbanen;
- semidirecte verbindingswegen: verbindingswegen met een kwart draai achterlangs de ongelijkvloers kruisende hoofdbanen;
- lusvormige of indirecte verbindingswegen: verbindingswegen met een krappe boog en een driekwart (indirecte) draai.

De verschillende typen verbindingswegen in knooppunten zijn weergegeven in afbeelding 4.2. Vervolgens zijn de belangrijkste afwegingen beschreven bij de keuze van een knooppuntvorm. In het vervolg van deze paragraaf is verder ingegaan op de uitwerking van knooppuntvormen.

⁴ De volledig ongelijkvloerse inrichting is de huidige standaard (streefbeeld). Uit het verleden bestaan er ook knooppunten waarbij relaties gelijkvloers zijn verbonden.

⁵ Kruispunten van autosnelwegen met stroomwegen worden ook middels een knooppunt vormgegeven. Hiervoor wordt verwezen naar het Handboek Wegontwerp. In deze Richtlijn zijn hoofdzakelijk slechts knooppunten tussen autosnelwegen beschouwd.

afbeelding 4.2 Overzicht type verbindingswegen in knooppunten



4.3.1

Afweging knooppuntvorm

Bij de afweging van de te kiezen knooppuntvorm en de daaraan gerelateerde vormgeving van de verbindingswegen (type en dimensionering) dienen de volgende aspecten meegewogen te worden:

- functie in het netwerk:
 - de tracés die in een knooppunt samenkomen, hebben als onderdeel van een traject een bepaalde functie binnen het netwerk, zoals beschreven in de netwerkvisie. Hieruit vloeit een bepaald gewenst kwaliteitsniveau voort, veelal gerelateerd aan de verkeersbelasting zoals hieronder beschreven. Een hoger gewenst kwaliteitsniveau voor bepaalde relaties binnen een knooppunt komt tot uiting in de behoefte aan een hoogwaardige(re) knooppuntvorm;
- robuustheid:
 - in relatie met de bovenbeschreven functie van een verbinding in het netwerk kan een verbinding ook een functie vervullen in de robuustheid van het netwerk. Een robuust netwerk is immers minder vatbaar voor verstoringen. In dergelijke gevallen kan er behoefte zijn aan een hoogwaardige(re) knooppuntvorm, terwijl dit gezien vanuit andere aspecten niet noodzakelijk is;
- verkeersveiligheid binnen een knooppunt:
 - binnen een knooppunt dient voorkomen te worden dat langzaam en snel rijdend verkeer met elkaar in aanraking komen. Het toepassen van een hoofdbaan in combinatie met een weefvak en indirecte verbindingsbogen (lussen) met een lage ontwerpsnelheid (50 km/u), zoals toegepast kan worden binnen een klaverblad, wordt gezien als verkeersonveilig. In knooppuntconfiguraties met een indirecte verbindingsweg wordt daarom altijd een rangeerbaan toegepast waar de indirecte verbindingsweg op aansluit. Houdt daarbij rekening dat een rangeerbaan niet kan eindigen in een indirecte verbindingsweg. Een indirecte verbindingsweg dient met een discontinuïteit aan te sluiten op een rangeerbaan. Een andere knooppuntvorm kan ook uitkomst bieden;
- ontwerpsnelheid van de samenkomende takken:
 - in een knooppunt is de autosnelweg verbonden met een andere stroomweg. Bij een verbinding met een Regionale Stroomweg kan een minder hoogwaardige knooppuntvorm wordt toegepast, zie ook paragraaf 4.3.4. Hierbij moet gedacht worden aan krappere boogstralen, lagere ontwerpsnelheden en/of minder directe verbindingswegen;

- gewenste kwaliteit van de verkeersafwikkeling per richting:
 - voor een intensief gebruikte route (route waarvoor twee of meer rijstroken nodig zijn) worden hogere eisen gesteld aan het kwaliteitsniveau van de verkeersafwikkeling dan voor routes waarvoor maar één rijstrook nodig is. In het geval van één benodigde rijstrook kan vanuit verkeersafwikkeling gezien veelal worden volstaan met een lus met een lage ontwerpsnelheid. Bij twee of meer rijstroken dient een hoogwaardigere verbinding te worden toegepast: een semi-directe boog of een directe boog met een hoge ontwerpsnelheid;
- beschikbare ruimte:
 - de knooppuntvorm bepaalt welke ruimtelijke elementen op welke locatie worden toegepast. Afhankelijk van ruimtelijke dwangpunten kan een bepaalde knooppuntvorm meer of minder geschikt zijn.

4.3.2

Vierarmige knooppunten

Vierarmige knooppunten zijn knooppunten waar twee doorgaande autosnelwegen elkaar kruisen. Voor vierarmige knooppunten wordt het volgende onderscheid gemaakt:

- standaardconfiguraties, waarbij de doorgaande hoofdbanen een hoek van 45° - 90° met elkaar hebben;
- onvolledige knooppunten, waarbij niet alle potentiële verkeersbewegingen worden gefaciliteerd.

standaardconfiguraties

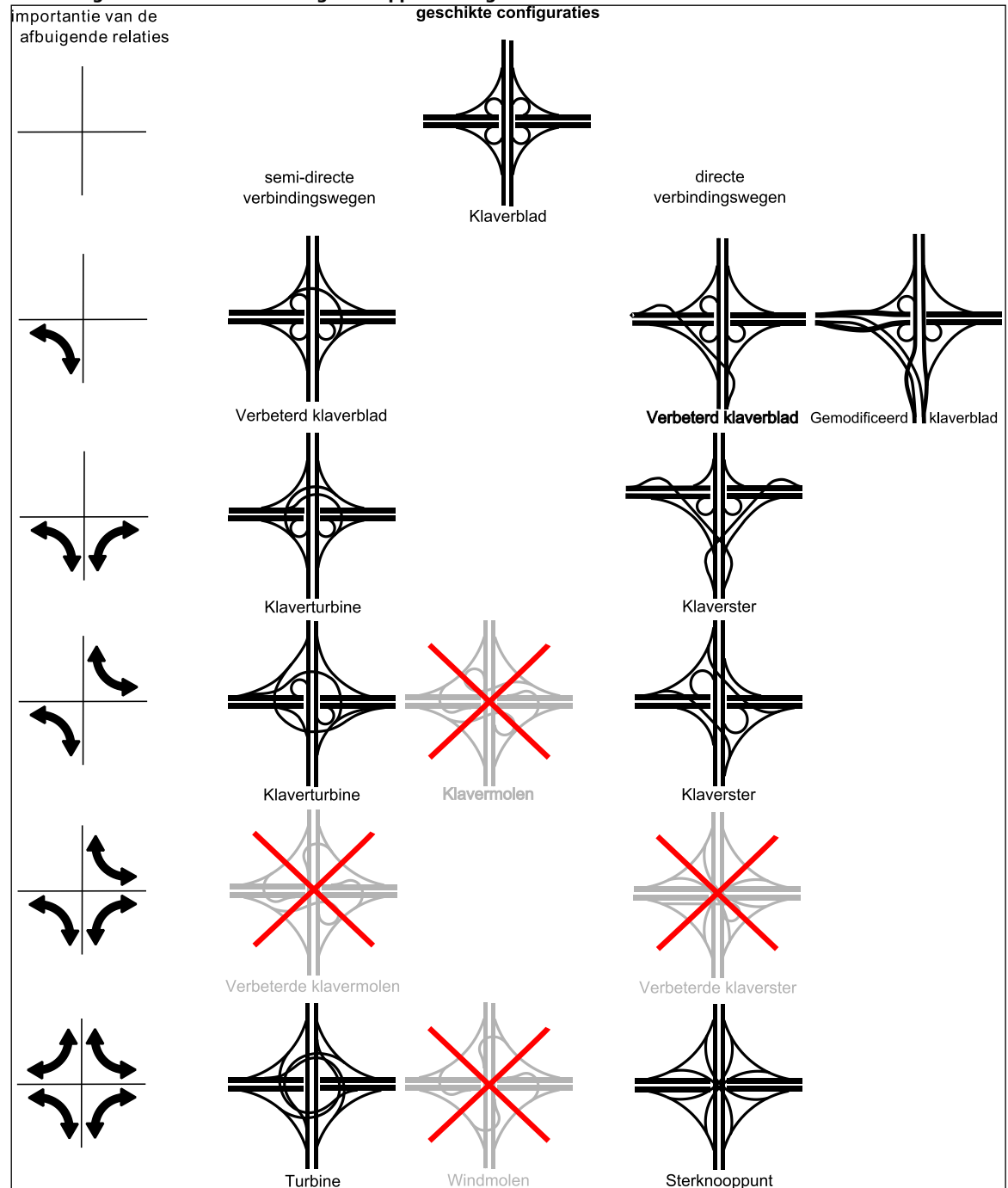
De meeste vierarmige knooppunten hebben een standaardconfiguratie, waarbij de hoofdbanen een onderlinge hoek tussen 45° en 90° hebben. De meest toegepaste standaardvormen staan schematisch weergegeven in afbeelding 4.3. Binnen de standaardcategorie zijn drie basisvormen te onderscheiden:

- klavervormen;
- turbinevormen;
- stervormen.

In afbeelding 4.3 is onderscheid gemaakt in de importantie van de afbuigende relaties (zoals in paragraaf 4.3.1 omschreven) en het toepassen van directe of semidirecte verbindingswegen. Een indirecte verbindingsweg (lus) is het minst hoogwaardige type verbindingsweg; deze kan worden toegepast wanneer een hoogwaardigere verbindingsweg niet nodig is op basis van bovengenoemde aspecten. Een lusvormige verbindingsweg als 'einde' van een rangeerbaan mag niet worden toegepast, omdat deze dan onverwacht komt.

Op die manier is een klaverblad de minst hoogwaardige knooppuntvorm. Hier tegenover staan de hoogwaardigere knooppuntvormen als een windmolen, turbine of sterknooppunt. Knooppuntvormen met onverwacht krappe bogen zijn niet toegestaan, zie de grijs doorgekruiste vormen in afbeelding 4.3.

afbeelding 4.3 Standaard vierarmige knooppuntconfiguraties

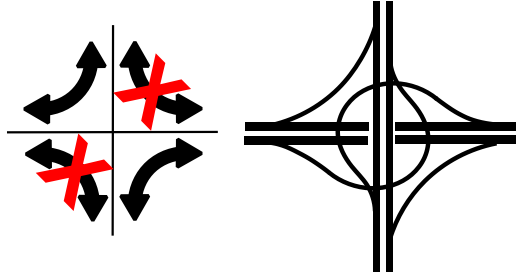


onvolledige knooppuntvormen

Het uitgangspunt bij de keuze voor een knooppuntvorm is een volledig knooppunt. Er kan echter vanuit beleid aanleiding zijn om een niet-volledig knooppunt toe te passen, mits dit aansluit op de netwerkvisie.

In dergelijke situaties kunnen de standaardknooppunten toegepast worden, waarbij de verbindingswegen die onwenselijke relaties faciliteren, weggelaten worden (zie afbeelding 4.4). De configuratie van de resterende verbindingswegen kan vervolgens geoptimaliseerd worden.

afbeelding 4.4 Voorbeeld van een onvolledige vierarmige configuratie



Het toepassen van een onvolledig knooppunt heeft de volgende nadelen:

- risico van sluipverkeer op onderliggend wegennet;
- onduidelijkheid voor weggebruikers (de algemene verwachting van een weggebruiker is dat een knooppunt volledig is);
- kans op extra reistijd op bepaalde routes;
- verminderde netwerkrobustheid (bij calamiteiten).

Bij het toepassen van een onvolledig knooppunt dient rekening gehouden te worden met compenserende maatregelen om de nadelige gevolgen te beperken.

4.3.3

Driearmige knooppunten

Driearmige knooppunten zijn knooppunten waar een beginnende/eindigende autosnelweg aansluit op een doorgaande autosnelweg. Voor driearmige knooppunten wordt het volgende onderscheid gemaakt:

- standaardconfiguraties, waarbij de doorgaande rijbaan in een (nagenoeg) rechte lijn ligt;
- (tijdelijke) configuraties, waarop in de toekomst een vierde tak kan worden aangesloten;
- onvolledige knooppunten, waarbij niet alle potentiële verkeersbewegingen worden gefaciliteerd.

standaardconfiguraties

Binnen de standaardcategorie zijn drie basisvormen te onderscheiden:

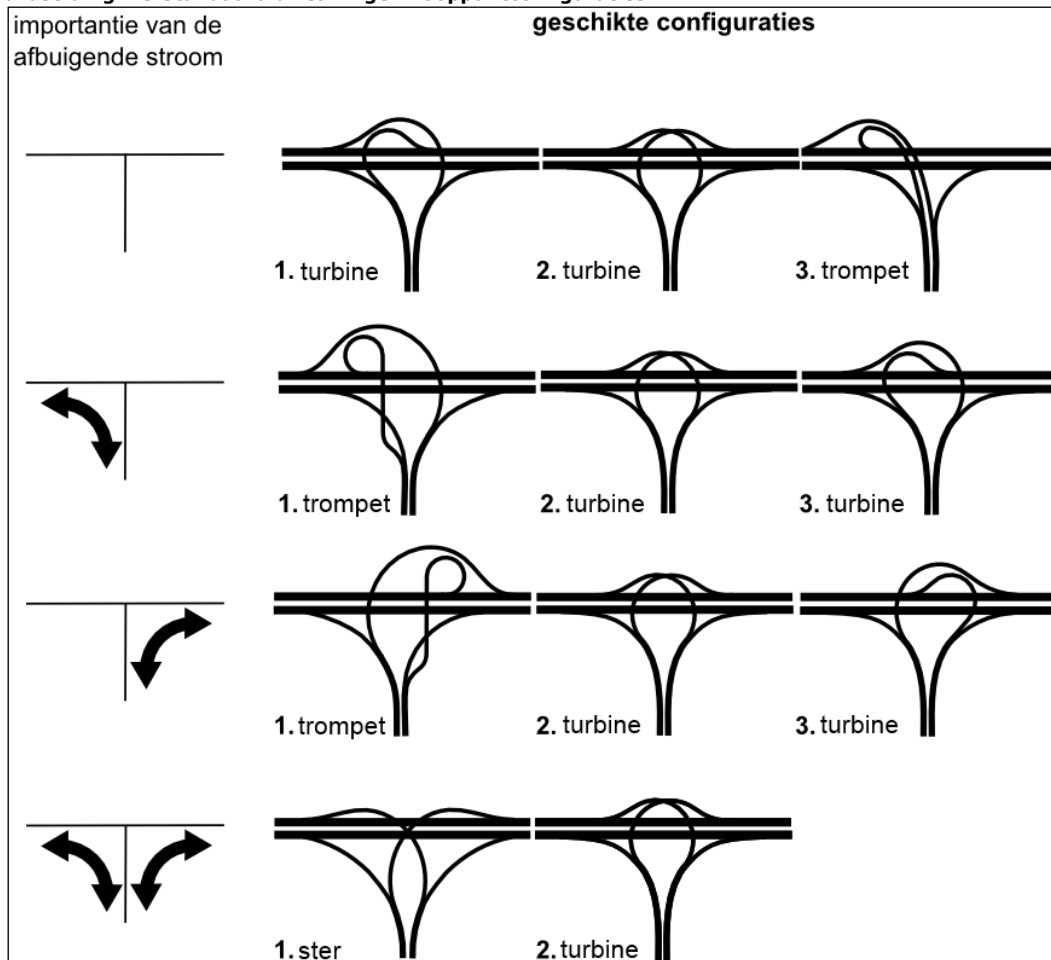
- trompetvormen;
- turbinevormen;
- stervormen.

In afbeelding 4.5 staat weergegeven welke configuraties mogelijk zijn, op volgorde van voorkeur. Deze voorkeur is gebaseerd op de importantie van de afbuigende relaties (zoals in het begin van de paragraaf omschreven). Hierbij kan worden gekozen voor toepassing van een indirecte verbindingsweg (lus) wanneer een hoogwaardigere verbindingsweg niet nodig is op basis van genoemde aspecten. Op die manier is een trompet de minst hoogwaardige knooppuntvorm. Aan de andere kant van het spectrum staat het hoogwaardige sterknooppunt, waarin indien gewenst vanuit de netwerkvisie alle verbindingswegen als hoofdbaan ontworpen kan worden.

Een indirecte verbindingsweg of een semi-directe verbindingsweg met een ontwerpsnelheid 50 km/u is niet toegestaan als einde van een hoofdbaan, omdat het einde van een hoofdbaan dan onverwacht is, niet wordt ingeleid door een discontinuïteit en voor de weggebruiker een hoofdbaan blijft waar het gedrag niet hoeft te worden aangepast. In de praktijk blijkt dat de

verkeersveiligheid van dergelijke oplossingen problemen geeft. Een verbindingsweg met een ontwerpsnelheid van 50 km/u aan het begin van een hoofdbaan is minder bezwaarlijk, omdat deze nadrukkelijker wordt ingeleid middels blokmarkering (uitvoeging of splitsing). Een zelfde overweging geldt voor krappe linksdraaiende verbindingswegen, zoals in (krappe) turbineknooppunten.

afbeelding 4.5 Standaard driearmige knooppuntconfiguraties



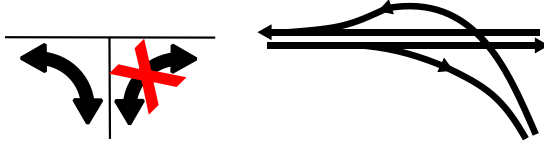
Bij het bepalen van de ontwerpsnelheid van verbindingswegen in driearmige knooppunten moet de functie van de verbindingsweg in het netwerk worden beschouwd. Indien één van de niet-doorgaande relaties een groot belang vertegenwoordigt in het netwerk, is het mogelijk deze als hoofdbaan te ontwerpen. Een (gebogen) trompetknooppunt is hiervoor een geschikte configuratie indien de andere niet-doorgaande relatie duidelijk ondergeschikt is. Dit wordt qua inpassing eenvoudiger naarmate de hoek tussen de takken kleiner is. Een sterknooppunt biedt de mogelijkheid om alle relaties als hoofdbaan te ontwerpen.

onvolledige knooppuntvormen

Het uitgangspunt bij de keuze voor een knooppuntvorm is een volledig knooppunt. Er kan echter vanuit netwerk- of regionale wensen aanleiding zijn om een niet-volledig knooppunt toe te passen, mits dit aansluit op de netwerkvisie.

In dergelijke situaties kunnen de standaardknooppunten toegepast worden, waarbij de onwenselijke verbindingswegen weggelaten worden. Een voorbeeld hiervan is weergegeven in afbeelding 4.6. De configuratie van de resterende verbindingsweg kan vervolgens geoptimaliseerd worden. De hoofdbaan die samenvoegt met de andere hoofdbaan verdient extra aandacht, omdat deze niet als verbindingsweg kan worden beschouwd, maar een hoofdbaan blijft met bijpassende maatvoering en dus als zodanig ontworpen dient te worden.

afbeelding 4.6 Onvolledige driearmige configuratie



4.3.4 Knooppunt tussen autosnelweg en regionale stroomweg

Voor een knooppunt tussen een autosnelweg en een regionale stroomweg (RSW) kan voor de bepaling van de knooppuntconfiguratie dezelfde redenering worden aangehouden als bij knooppunten van twee autosnelwegen, mits de RSW (in ieder geval rond het knooppunt) voldoet aan het wensbeeld (gescheiden rijbanen, ongelijkvloerse kruisingen/aansluitingen). Indien dit niet het geval is, wordt geen knooppunt maar een aansluiting toegepast.

Omdat een RSW een minder belangrijke functie heeft in het netwerk, kan doorgaans volstaan worden met een minder hoogwaardige knooppuntvorm. Dit is echter niet noodzakelijk.

Om het minder hoogwaardige karakter van de (doorgaande) RSW te benadrukken, worden in principe geen rangeerbanen toegepast langs de RSW. Bovendien zal bij een knooppunt met een autosnelweg relatief veel uitwisseling plaatsvinden op de RSW (en het aandeel doorgaand verkeer is daarmee relatief laag), waardoor een gescheiden rijbaan voor doorgaand verkeer niet nodig is.

In knooppunten met een RSW vindt een overgang in wegtype plaats. De vormgeving van het knooppunt moet zodanig zijn dat de weggebruiker zich veilig kan aanpassen aan het nieuwe wegtype en de bijbehorende maximumsnelheid. Dit stelt echter geen strengere eisen aan het knooppuntontwerp. Indien de wegvakken goed zijn ontworpen, zal de overgang in wegtype de gebruiker bij het oprijden van het wegvak direct opvallen. De vormgeving van het knooppunt vervult hierin een beperkte rol. Wel zijn er de volgende aandachtspunten:

- bij een drietaks knooppunt vormen de takken van hetzelfde wegtype de doorgaande weg;
- viertaksknooppunten waarvan slechts een van de takken een RSW is, geven een overgang in wegtype op een doorgaande stroomweg. In dat geval dient deze overgang buiten het knooppunt plaats te vinden;
- omwille van verkeersveiligheid en robuustheid worden net als in knooppunten tussen autosnelwegen alle verbindingswegen voorzien van een vluchtstrook. De vluchtstrook begint/eindigt bij het puntstuk op de RSW.

4.3.5 Knooppunt nabij een aansluiting

Het kan voorkomen dat op de plaats van een knooppunt ook een aansluiting met het onderliggend wegennet aanwezig is of moet worden gerealiseerd. Vanwege verkeersveiligheid worden deze dan uit elkaar getrokken, zodanig dat er geen discontinuïteiten in de verbindingswegen van het knooppunt voorkomen.

4.4 Aansluitingen

Een aansluiting in een autosnelweg is een verbinding tussen een autosnelweg en een niet-stroomweg. Daar waar de autosnelweg de niet-stroomweg kruist, vindt de kruising tussen beide wegen ongelijkvloers plaats.

Een aansluiting is onder te verdelen in:

- invoegstroken en uitrijstroken als aansluiting op de autosnelweg;
- toe- en afritten als verbindingswegen tussen de autosnelweg en het onderliggende wegennet;
- gelijkvloerse kruispunt(en) als aansluiting op het onderliggende wegennet.

Het begin en eind van respectievelijk toe- en afritten vormen een overgang in wegcategorie. De grens tussen autosnelweg en onderliggend wegennet wordt gelegd op de plaats waar het ontwerp van het kruispunt op het onderliggend wegennet start. Dit is rond de aansluitbogen van het kruispunt met het onderliggend wegennet, of (bij afritten) zoveel eerder als de voorsorteervakken beginnen. Ter hoogte van het kruispuntontwerp mag de vluchtstrook dus komen te vervallen. Om aansluitend op de overgang in wegcategorie ook een overgang in weggedrag bij de weggebruiker te bewerkstelligen, wordt de afrit met een haakse of zeer krappe boog aangesloten op het onderliggend wegennet, bij voorkeur middels haaiantanden.

Bij een aansluiting is uitwisseling in alle richtingen mogelijk. Onvolledige aansluitingen worden niet toegepast, tenzij dit een logische keuze is vanuit de regionale netwerkvisie.

Bij het ontwerpen van een aansluiting dient rekening gehouden te worden met spookrijden. Om de kans hierop te reduceren, dient de verkeerssituatie op de gelijkvloerse kruising(en) met het onderliggende wegennet juist en overzichtelijk ontworpen te zijn. Hiervoor wordt verwezen naar Handboek Wegontwerp, de ASVV ('Aanbevelingen voor Stedelijke Verkeer Voorzieningen') en de Richtlijnen voor de bebakening en markering van wegen.

In deze paragraaf worden de volgende facetten van aansluitingen beschreven:

- standaardconfiguraties;
- structuur van de kruisende wegen;
- afwikkeling op de aansluiting;
- inpassing van de aansluiting.

4.4.1 *Standaardconfiguraties aansluitingen*

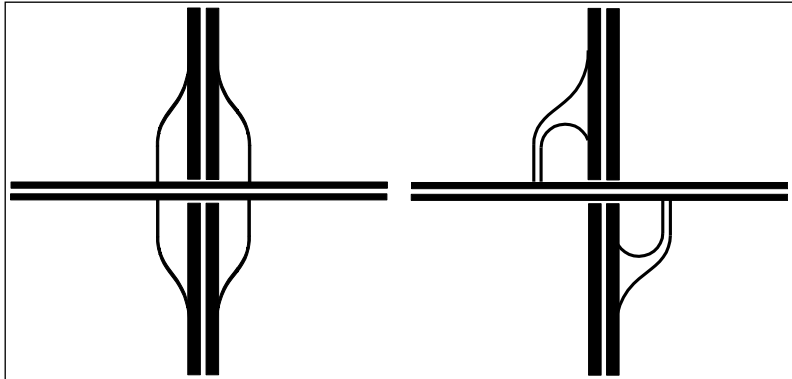
Voor de structuur van toe- en afritten worden twee standaardvormen onderscheiden:

- de Haarlemmermeeraansluiting;
- de halfklaverbladaansluiting.

Het hanteren van andere vormen wordt zeer ontraden vanwege begrijpelijkheid en verkeersveiligheid.

Beide oplossingen zijn weergegeven in afbeelding 4.7. Het toepassen van een Haarlemmeroplossing heeft in principe de voorkeur vanuit overzicht. Per situatie dient echter de afweging gemaakt te worden welke vorm wenselijk is, ook qua afwikkeling en inpassing.

afbeelding 4.7 Haarlemmermeeraansluiting (links) en halfklaverbladaansluiting (rechts)



Haarlemmermeeraansluiting

Een Haarlemmermeeraansluiting kenmerkt zich door toe- en afritten die in de stroomrichting van de autosnelweg liggen. Deze vorm biedt de volgende voordelen:

- logica: ligging van de toe- en afritten komt overeen met de gewenste rijrichting;
- goede berijdbaarheid: er is geen sprake van krappe bogen in de toe- en afritten;
- gering ruimtebeslag: het ruimtebeslag in de breedte is minimaal;
- overzichtelijkheid: men heeft goed zicht op het stroomafwaartse verkeer en wegverloop.

Hierdoor is er ook geen reden om in het ontwerp van een Haarlemmermeer-afrit rekening te houden met de stappentheorie, tenzij er sprake is van een duidelijke S-boog.

De Haarlemmermeeraansluiting heeft echter de volgende nadelen:

- beperkt remmende werking: bij afritten moet gewaakt worden voor hoge snelheden ter plaatse van het gelijkvloerse kruispunt met het onderliggende wegennet; dit wordt voorkomen door toepassing van een stijgend alignement en/of een rotonde aan het einde;
- doorstroming onderliggend wegennet: door de beperkte (opstel)afstand tussen de twee gelijkvloerse kruispunten met het onderliggende wegennet, moeten deze in onderling verband beschouwd worden;
- gevoelig voor fileontduiking: doordat de af- en toerit in elkaars verlengde liggen, is het eenvoudig om via deze verbindingswegen de file te ontwijken;
- bij krap vormgegeven aansluitingen kan het kunstwerk zichtbelemmeringen op het kruispunt opleveren.

Indien de weg van lagere orde eindigt bij een autosnelweg, ontstaat een T-aansluiting. Bij toepassing van een Haarlemmermeeraansluiting wordt deze T-aansluiting duidelijk geaccentueerd. Het nadeel is echter dat de beide linksafslaande verkeersstromen aan het einde van de weg een conflict met elkaar hebben en dat hierbij onduidelijke voorrangssituaties kunnen ontstaan.

Halfklaverbladaansluiting

Een halfklaverbladaansluiting heeft twee kwadranten met een toe- en afrit en twee lege kwadranten. Deze vorm biedt de volgende voordelen:

- flexibel ruimtebeslag: de toe- en afritten kunnen zodanig worden geprojecteerd, dat ruimtelijke knelpunten worden vermeden, bijvoorbeeld bij bebouwing of langs een spoor of kanaal;
- doorstroming onderliggende wegennet: de afstand tussen de twee gelijkvloerse kruispunten met het onderliggende wegennet is groter, waardoor er minder kans op problemen als gevolg van beperkte opstelruimte is.

Een halfklaverbladaansluiting heeft echter de volgende nadelen:

- lusvormige afritten: vanwege de grote benodigde deceleratie bij lusvormige afritten die bovendien misleidend kunnen zijn, worden lussen met krappe boogstraal bij voorkeur niet toegepast; bovendien zijn lusvormige verbindingswegen minder comfortabel berijdbaar;
- lusvormige toeritten: groot snelheidsverschil tussen verkeer op de hoofdbaan en de invoegende verkeersstroom leidt tot onveiligheid en verslechtering doorstroming; bovendien zijn lusvormige verbindingswegen minder comfortabel berijdbaar;
- overzichtelijkheid: vanwege de lusvormige toeritten is de initiële rijrichting niet altijd logisch, waardoor er ook een grotere kans op spookrijden ontstaat.

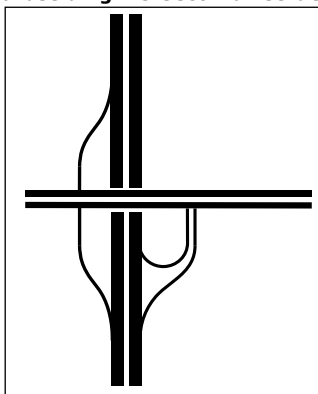
Het heeft de voorkeur de toerit lusvormig uit te voeren, omdat de bovenstaande nadelen van een lusvormige afrit zwaarder wegen dan die van de toerit.

Indien de weg van lagere orde eindigt bij een autosnelweg, ontstaat een T-aansluiting. De toepassing van een halfklaverbladaansluiting biedt in dergelijke situaties het voordeel dat het verkeer elkaar aan het einde van de weg van lagere orde niet hoeft te kruisen. Wel bestaat het gevaar dat de T-aansluiting als overgang naar een lagere wegcategorie minder goed wordt herkend. Het is daarom van belang deze overgang goed te accentueren middels een haakse of zeer krappe boog.

gecombineerde oplossingen

Bepaalde situaties kunnen aanleiding geven om de voordelen van bovenbeschreven standaardoplossingen te combineren. Aan de ene zijde van de autosnelweg wordt dan een Haarlemmermeeraansluiting toegepast en aan de andere zijde een halfklaverbladaansluiting.

afbeelding 4.8 Gecombineerde oplossing



4.4.2 Structuur van de kruisende wegen

Voor de structuur van kruisende wegen kan het volgende onderscheid gemaakt worden:

- hoogliggende autosnelweg;
- laagliggende autosnelweg.

De keuze voor één van deze opties heeft invloed op 3 aspecten, waarmee rekening gehouden dient te worden in het wegontwerp:

1. zicht;
2. acceleratie en deceleratie;
3. wegbeeld.

ad 1). Bij een hoogliggende autosnelweg hebben de afritten een dalend verloop, waardoor extra aandacht besteed dient te worden aan het waarborgen van het benodigde zicht op het verloop

van de afrit. Een dalende afrit biedt wel voordelen voor het zicht op het gelijkvloerse kruispunt met het onderliggende wegennet.

Bij een laagliggende autosnelweg is de benodigde zichtlengte op een afrit doorgaans geen probleem. Er kan dan alleen een zichtprobleem optreden bij een halfklaverbladoplossing, wanneer het kunstwerk van de hoog kruisende weg van lagere orde het zicht op de afrit ontnemt. Daarnaast moet eventueel wachtend verkeer voor het kruispunt stilstaan op een helling.

ad 2). Bij een hoogliggende autosnelweg is er voor de toe- en afritten meer acceleratie- respectievelijk deceleratielengte benodigd. Dit kan een reden zijn om de autosnelweg laagliggend te ontwerpen.

ad 3). Bij combinatie van een horizontale en verticale boog kan misleiding in het wegbeeld ontstaan. Een (krappe) horizontale boog kan in combinatie met een verticale holle boog ruimer lijken. Hiermee dient in het wegontwerp rekening gehouden te worden, zie ook paragraaf 5.6.2.

4.4.3

Afwikkeling op de aansluiting

Op basis van een verkeersprognose dient inzicht verkregen te worden in de te verwachten verkeersbewegingen op de aansluiting. De aansluitingsvorm dient zodanig ontworpen te worden, dat deze verkeersbewegingen niet leiden tot afwikkelingsproblemen. Met name terugslag vanaf het onderliggende wegennet naar de autosnelweg dient voorkomen te worden.

De verkeersbewegingen beïnvloeden vier aspecten van het ontwerp:

- 1 de structuur van de aansluiting (ligging toe- en afritten);
- 2 de vormgeving van de gelijkvloerse kruispunten met het onderliggende wegennet;
- 3 het ontwerp van de toe- en afritten;
- 4 de lengte van de afrit.

ad 1). De aansluitingsconfiguratie dient afgestemd te worden op de verwachte verkeersbewegingen. Voor verkeersbewegingen waarvoor meer dan één rijstrook nodig is, dienen geen lusvormige verbindingswegen toegepast te worden, omdat er onveiligheid ontstaat vanwege (onverwachte) snelheidsverschillen doordat bestuurders een verschillende risicoacceptatie hebben. Daarnaast wordt de afwikkeling bevorderd door de toe- en afritten zodanig te structureren, dat de grootste verkeersstromen afgewikkeld worden middels rechtsaf slaande bewegingen op de gelijkvloerse kruispunten met het onderliggende wegennet. Dit geldt met name bij hoge vrachtverkeerintensiteiten. Rechtsafbewegingen hebben de minste conflicten met de overige verkeersbewegingen op een kruispunt en belasten zodoende de capaciteit van het kruispunt minimaal. Linksaf slaande bewegingen hebben daarentegen een grote invloed op de belasting van het kruispunt.

Het kan voorkomen dat een aansluiting op het onderliggend wegennet wordt gecombineerd met een afrit voor een verzorgingsplaats. Dit is alleen acceptabel als het gaat om enkelstrooks afritten. Voor de vormgeving van de opeenvolgende convergentie- en divergentiepunten is geen voorkeur aan te geven.

ad 2). Er zijn veel varianten voor de vormgeving van gelijkvloerse kruispunten op het onderliggende wegennet bij een aansluiting op een autosnelweg. De keuze voor een variant is sterk gerelateerd aan de (grootte van de) verkeersbewegingen. De drie voorkeursoplossingen die worden toegepast zijn: (turbo)rotondes, kluifrotondes, of VRI-geregelde kruispunten. Hiervoor geldt dat een rotondevariant wordt gezien als de meest verkeersveilige oplossing. Een VRI-geregelde kruispunt biedt, afhankelijk van het aantal rijstroken per richting, de meeste capaciteit. Voor alle kruispunten is van belang dat de weggebruiker die van de snelweg afkomt, nadrukkelijk wordt geconfronteerd met het feit dat hij van de snelweg af is. Kruispunten en de

inrichting daarvan behoren tot het onderliggend wegennet, daarom wordt voor het verdere ontwerp van gelijkvloerse kruispunten en bijbehorende opstelvakken verwezen naar het Handboek Wegontwerp of ASVV. Extra aandachtspunt is dat fietsers altijd uit de voorrang de toe- en afrit kruisen, omdat fietsers in de voorrang niet in de verwachting van de gebruiker van de afrit liggen.

ad 3). De dimensionering van de toe- en afritten heeft invloed op de verkeersafwikkeling van een aansluiting middels de grootte van de boogstralen en het aantal rijstroken. De totale capaciteit van een aansluiting wordt echter voornamelijk bepaald door de dimensionering van de kruispuntelementen van het onderliggende wegennet en de wijze van invoegen/samenvoegen op/met de doorgaande rijbaan van de autosnelweg.

ad 4). Voor het bepalen van de lengte van een afrit zijn de maatgevende deceleratielengte (paragraaf 6.1.2) en de stappentheorie (paragraaf 5.2.2) van toepassing. Deze richtlijnen dienen voor het realiseren van voldoende lengte voor het, op een verkeersveilige wijze, decelereren van voertuigen. Hiervoor geldt een hoge beginsnelheid, afhankelijk van het snelheidsregime op de doorgaande autosnelweg, en een eindsnelheid van 0 km/u voor de kruising met het onderliggend wegennet. Het maatgevende punt waarvoor de eindsnelheid van 0 km/u geldt, is afhankelijk van de benodigde opstelruimte voor verkeer voor het gelijkvloerse kruispunt. Het uitgangspunt is dat het verkeer vanaf de afrit stil moet kunnen staan voordat de wachtrij begint. Voor de berekening van de benodigde opstellengte geldt dat in minimaal 90 % van de gevallen de wachtrij korter moet zijn dan de berekende opstellengte. Tevens dient er rekening worden gehouden met de inpassing van bewegwijzering, bebording en bebakening.

4.4.4 *Inpassing van de aansluiting*

De keuze voor een aansluitingsvorm heeft invloed op het ruimtebeslag. Randvoorwaarden vanuit de omgeving kunnen zodoende eisen stellen aan de structuur van een aansluiting. De relatie tussen structuur en inpasbaarheid speelt zicht voornamelijk af op de volgende twee vlakken:

- 1 ruimtelijke inpasbaarheid;
- 2 inpasbaarheid in lengterichting.

ad 1). De ruimtelijke inpasbaarheid kan tot eisen leiden aan de structuur van een aansluiting. De ligging van de toe- en afritten bepalen immers de mogelijkheden om de aansluiting fysiek in te passen. Dit kan er toe leiden om toe- en/of afritten om te klappen naar een kwadrant waar de ruimtelijke aantasting minimaal is.

ad 2). De structuur van de toe- en afritten heeft directe invloed op de convergentie- en divergentiepunten op de autosnelweg. Door een wijziging van structuur verschuiven deze punten in de lengterichting van de autosnelweg. Dwangpunten in de lengterichting van de autosnelweg kunnen zodoende leiden tot eisen aan de structuur van de aansluiting.

4.5 **Parallelstructuur**

Ter plaatse van discontinuïteiten in een rijbaan treden rijstrookwisselingen op, hetgeen tot turbulentie in de verkeersstroom leidt. Dit heeft een nadelig effect op de capaciteit van een rijbaan en kan leiden tot snelheidsverschillen en verkeersonveiligheid. In situaties waar meerdere knooppunten en/of aansluitingen zich op korte afstand van elkaar bevinden, kan de resulterende turbulentie leiden tot (structurele) problemen met verkeersveiligheid en doorstroming.

In dergelijke situaties kan worden gekozen voor het toepassen van een parallelstructuur, parallel langs de hoofdbaan. Hierbij wordt het verkeer dat de doorgaande hoofdbaan wil verlaten of bereiken over grotere lengte gescheiden van het doorgaande verkeer. Zodoende wordt de

stroom die de turbulentie veroorzaakt, gescheiden van de doorgaande stroom. Hierdoor ontstaat er op de hoofdbaan een meer continue verkeersstroom, en treedt er slechts turbulentie op op de locaties van de convergentie- en divergentiepunten van de hoofdbaan met de parallelstructuur. De vormgeving en locatie van deze punten kunnen vervolgens geoptimaliseerd worden.

Parallelstructuur heeft de volgende functies:

- faciliteren van invoegend verkeer;
- faciliteren van uitvoegend verkeer;
- faciliteren van wevend verkeer.

De keuze voor het al dan niet toepassen van parallelstructuur is mede afhankelijk van de functie/importantie van het tracé binnen het netwerk. Op hoofdverbindingssassen wordt vanwege economische belangen een hogere kwaliteitsondergrens van de verkeersafwikkeling (reistijd en reistijdbetrouwbaarheid) nagestreefd, waardoor het toepassen van een parallelstructuur eerder gewenst is.

Voor parallelstructuur wordt onderscheid gemaakt tussen rangeerbanen en parallelbanen:

- een rangeerbaan is een rijbaan ter plaatse van een knooppunt en/of aansluiting, evenwijdig aan een hoofdbaan en beginnend en eindigend op die hoofdbaan, bedoeld voor invoegbewegingen, uitrijbewegingen en weefbewegingen, waarbij grote snelheidsverschillen kunnen optreden;
- een parallelbaan is een rangeerbaan die zich uitstrekt over twee of meer knooppunten en/of aansluitingen, waarbij relatief grote hoeveelheden verkeer uitwisselen tussen hoofdwegennet en onderliggend wegennet.

Om de uitwisseling van de autosnelweg met het onderliggende wegennet en met andere rijbanen van autosnelwegen efficiënt te laten plaatsvinden, ligt de parallelstructuur aan de buitenzijde van de weg. Hierdoor zijn verbindingswegen tussen het onderliggend wegennet en de autosnelweg eenvoudiger inpasbaar. Op de parallelstructuur vindt ook de afwikkeling van eventueel regionaal verkeer plaats.

Bij het divergentiepunt van een parallelbaan gaat aandacht uit naar de duidelijkheid en begrijpelijkheid voor de weggebruiker. Het kan immers voorkomen dat er al ver voor de daadwerkelijke afrit gekozen moet worden voor uitvoegen naar de parallelbaan. Dit geeft verhoogde kans op verkeerde routekeuze.

Een parallelstructuur begint en eindigt op dezelfde hoofdbaan. Een parallelstructuur kan dus niet overgaan in een verbindingsweg.

4.6 Capaciteit

Capaciteit is de maximale verkeersintensiteit die een weg kan verwerken. Nauwkeurige kennis van de capaciteit van elke oplossing is om diverse redenen noodzakelijk:

- om bij een gegeven verkeersbehoefte de juiste vormgevingsoplossing te kiezen en daarbij de afwikkelingskwaliteit te kunnen bepalen;
- om zo efficiënt mogelijk te kunnen ontwerpen zonder de afwikkelingskwaliteit negatief te beïnvloeden;
- ten behoeve van een goede besluitvorming (beleidsmatig);
- ter ondersteuning van het ontwerp van verkeersbeheersingsmaatregelen.

Op hoofdlijnen kan worden gesteld dat de capaciteit wordt bepaald door het aantal beschikbare rijstroken en de aard van de toegepaste discontinuïteiten. In het onderstaande worden daarom - na introductie van enkele algemene capaciteitsgrootheden - de capaciteit van een rijstrook en van discontinuïteiten behandeld.

Voor de meest recente beschrijving van de capaciteitswaarden voor infrastructuur van autosnelwegen wordt verwezen naar het vigerende Handboek CIA (Capaciteiten Infrastructuur Autosnelwegen).

4.6.1 *Capaciteitsgrootheden*

Om uitspraken te kunnen doen over de (gewenste) capaciteit van een tracé, wegvak, of discontinuïteit, worden de volgende grootheden geïntroduceerd:

- intensiteit;
- capaciteit;
- personenautoequivalent (pae);
- intensiteit/capaciteit-verhouding (I/C-verhouding).

intensiteit

De voornaamste reden voor het aanleggen van een nieuwe autosnelweg of het uitbreiden van een bestaande, is het oplossen van (aanstaande) verkeersafwikkelingproblemen doordat de weg het verkeersaanbod niet (goed) kan verwerken.

Om te bepalen met welke (geprognosticeerde) intensiteiten rekening gehouden dient te worden, wordt het Nederlands Regionaal Model (NRM) gebruikt. De modelresultaten van het NRM zijn verkeerscijfers die bestaan uit intensiteiten (vtg/h) voor personenauto's en vrachtverkeer over de verschillende wegvakken, verdeeld over verschillende perioden van de dag. Op basis van deze intensiteiten kan worden ingeschat welke maatregelen er nodig zijn om de doorstroming te verbeteren. Daarnaast worden de intensiteiten gebruikt in effectenstudies voor het bepalen van de milieueffecten, zoals luchtkwaliteit en geluidshinder.

capaciteit

Capaciteit is de maximale intensiteit die verwerkt kan worden. De capaciteit wordt beïnvloed door verschillende factoren, zoals bijvoorbeeld gereden snelheid van de voertuigen, weersomstandigheden, rijgedrag van bestuurders, aandeel vrachtverkeer, percentage wevend verkeer, ontwerp van de weg, hellingen, etc. Daarom is de capaciteit geen statische waarde. De capaciteit wordt als volgt gedefinieerd:

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

In standaardsituaties en onder optimale omstandigheden kan uitgegaan worden van standaard capaciteitswaarden (zie paragrafen 4.6.2 en 4.6.11). De belangrijkste uitgangspunten hierbij zijn:

- wegvak met een ongestoorde verkeersafwikkeling;
- werkdagverkeer (regelmatige weggebruikers);
- ontwerp conform deze Richtlijn;
- rijstrookbreedtes van 3,50 m;
- geen verstoringen in het verticale alignement (hellingen);
- geen capaciteitsrestricties boven- of benedenstrooms;
- goede weersomstandigheden;
- goede staat van het wegdek;
- daglicht;
- afwezigheid van verkeersmanagementmaatregelen (met uitzondering van signalering).

De standaard capaciteitswaarden kunnen niet zonder meer worden toegepast in situaties waar sprake is van meerdere opeenvolgende discontinuïteiten, waarvan de bijbehorende turbulentieafstanden op elkaar aansluiten en waar de I/C-verhouding $\geq 0,8$ is.

Indien er geen sprake is van een standaardsituatie onder niet-optimale omstandigheden, kan de capaciteit eventueel bepaald worden met behulp van de correctiefactoren zoals beschreven in paragraaf 4.6.11 of in het Handboek CIA. In overige gevallen kan door middel van een verkeerssimulatie worden nagegaan of de doorstroming voldoende is voor een bepaalde situatie. Een dergelijke verkeerssimulatie kan uitgevoerd worden met het microsimulatiemodel FOSIM⁶.

personenauto-equivalent

De personenauto-equivalent is een rekeneenheid waartoe motorvoertuigen worden herleid om onderlinge vergelijking met betrekking tot de verkeersintensiteiten (en dus ook capaciteiten) mogelijk te maken, onafhankelijk van het percentage vrachtverkeer.

Concreet betekent dit dat elke vrachtwagen (voertuig langer dan 6,0 meter) met de pae-factor vermenigvuldigd dient te worden om uit te komen op een personenauto-equivalent. Op deze wijze wordt er omgerekend van motorvoertuigen per uur (mvt/h) naar personenauto-equivalenten per uur (pae/h).

De juiste pae-factor is sterk afhankelijk van de situatie. In drukke verkeerssituaties (relevant voor capaciteitswaarden) lijkt een factor 2,0 het beste te passen. Bij lage(re) intensiteiten en hellingen $\leq 2\%$ kan een pae-factor 1,5 gehanteerd worden. De relatie tussen personenauto-equivalent en motorvoertuigen is als volgt:

$$C_{mvt} = \frac{C_{pae}}{1 + (f_{pae} - 1) * \frac{a_{vv}}{100\%}} \quad \text{of} \quad C_{pae} = C_{mvt} * \left[1 + (f_{pae} - 1) * \frac{a_{vv}}{100\%} \right]$$

Hierin is:

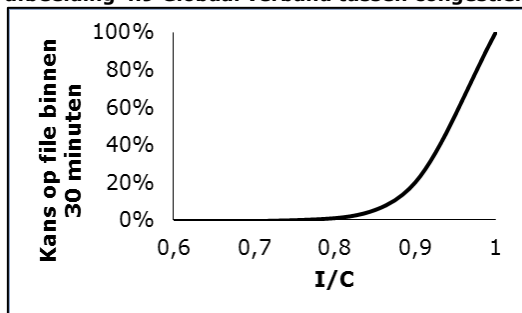
- C_{mvt} : de capaciteit in motorvoertuigen per uur (mvt/h);
- C_{pae} : de capaciteit in personenauto-equivalent per uur (pae/h);
- f_{pae} : pae-factor;
- a_{vv} : aandeel vrachtverkeer (%).

I/C-verhouding

De verhouding tussen de intensiteit (I) en de capaciteit (C) is een indicator voor de kwaliteit van de verkeersafwikkeling van een weggedeelte. Hierin is de situatie tijdens de drukste spits maatgevend. Wanneer de I/C-verhouding zich ruim onder de 1,0 bevindt, dan is er geen afwikkelingsprobleem te verwachten. Nadert de I/C-verhouding de 1,0, dan treedt onder ongunstige omstandigheden congestie op. Boven de 1,0 is de congestie structureel. Hoe de overgang ongeveer verloopt, is schematisch weergegeven in afbeelding 4.9. Voor een nadere toelichting wordt verwezen naar het Handboek CIA.

⁶ www.fosim.nl

afbeelding 4.9 Globaal verband tussen congestiekans en de I/C-verhouding



De afbeelding laat zien dat bij een I/C-verhouding onder 0,8 er vrijwel geen congestie optreedt. Daarboven loopt de congestiekans snel op. Als uitgangspunt kan men hanteren dat bij een I/C-verhouding < 0,8 de capaciteit voldoende reserve heeft, bij een verhouding van 0,9 zit men in het overgangsbereik.

Voor het ontwerpen van autosnelwegen is het uitgangspunt dat de I/C-verhouding altijd kleiner dan of gelijk aan 0,8 moet zijn.

4.6.2

Rijbaan in continue situaties

In tabel 4.2 staan de richtwaarden voor de capaciteit van autosnelwegen. Deze richtwaarden gelden bij standaard maatvoering van hoofdbanen onder gunstige omstandigheden zoals beschreven in paragraaf 4.6.1. Bij afwijkende omstandigheden en/of vormgeving dient een aangepaste waarde voor de capaciteit te worden bepaald. Zie hiervoor paragraaf 4.6.11 en/of het Handboek CIA. Onder afwijkende vormgeving vallen ook autosnelwegen met meer dan 4 rijstroken. De capaciteit bij deze vormgeving neemt niet lineair toe met het aantal rijstroken, vanwege onderbenutting van rijstroken.

tabel 4.2 Maximale capaciteitswaarden bij 15% vrachtverkeer en ideale omstandigheden

aantal rijstroken	capaciteit
1 (lengte > 1.500 m)	1.900 mvt/h
1 (lengte ≤ 1.500 m)	2.100 mvt/h
2	4.300 mvt/h
3	6.200 mvt/h

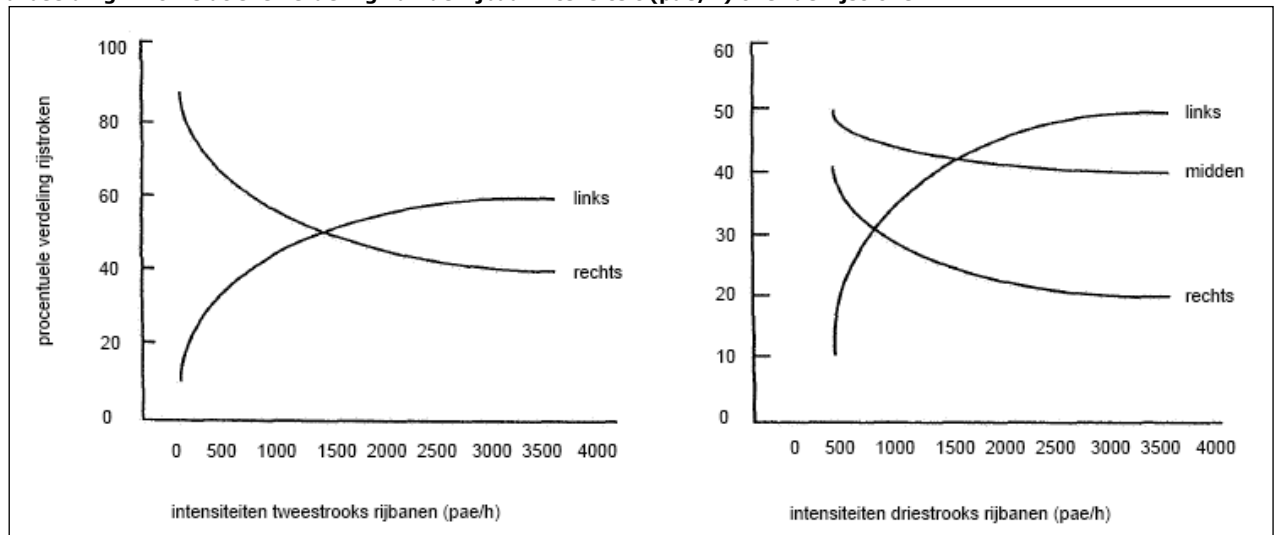
Bovenstaande capaciteitswaarden gelden alleen bij 15% vrachtverkeer, het standaardpercentage voor Nederlandse autosnelwegen. In tabel 4.3 staat de rijbaancapaciteit weergegeven bij verschillende percentages vrachtverkeer voor twee en drie rijstroken. Hierbij is uitgegaan van een pae-factor van 2,0.

tabel 4.3 Richtwaarden voor de capaciteit (mvt/h) onder ideale omstandigheden

aandeel vrachtverkeer	capaciteit	
	2 rijstroken	3 rijstroken
0 %	4830 mvt/h	7240 mvt/h
5 %	4620 mvt/h	6930 mvt/h
10 %	4410 mvt/h	6610 mvt/h
15 %	4200 mvt/h	6300 mvt/h
20 %	4030 mvt/h	6050 mvt/h
25 %	3860 mvt/h	5800 mvt/h
30 %	3700 mvt/h	5540 mvt/h

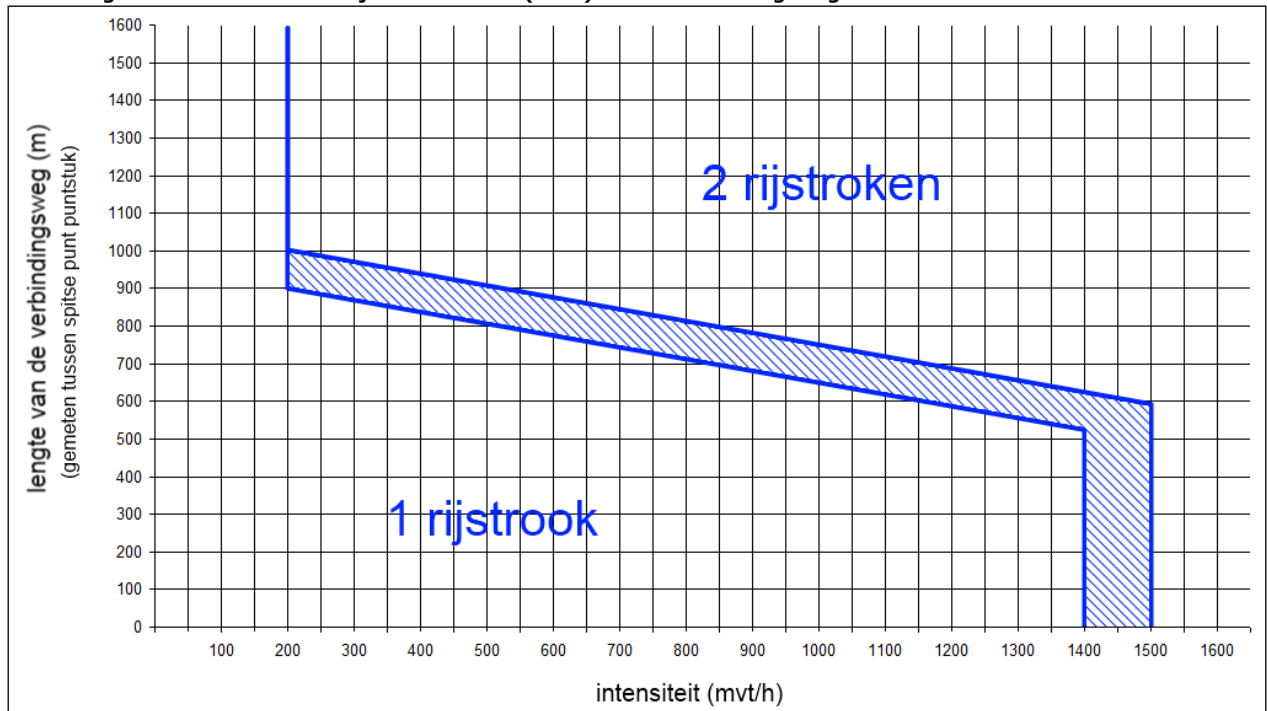
verdeling van verkeer over rijstroken

De getoonde richtwaarden voor de capaciteit gelden voor rijbanen. Voor afzonderlijke rijstroken is er een verschil in capaciteit. Zeer korte volgtijden die soms op linkerrijstroken worden aangetroffen, dragen bij aan een hoge waarde voor de capaciteit.

afbeelding 4.10 Relatieve verdeling van de rijbaanintensiteit (pae/h) over de rijstroken**4.6.3****Verbindingswegen**

De capaciteit van een eenstrooks rijbaan (verbindingsweg) neemt af met de lengte, omdat langzame voertuigen gaten laten vallen in de verkeersstroom die niet meer kunnen worden opgevuld. De reductie verloopt gradueel met de lengte van de rijbaan. Om capaciteitsverlies door clustering van voertuigen tegen te gaan, kan het gewenst zijn om 2 rijstroken toe te passen op een verbindingsweg, ook wanneer dit voor de verkeersintensiteit niet nodig is (zie afbeelding 4.11). Hiermee wordt bovendien clustering van voertuigen voorkomen, waardoor invoeging op een (hoofd)rijbaan soepeler verloopt.

afbeelding 4.11 Gewenst aantal rijstroken in een (semi)directe verbindingsweg*



* Het aantal rijstroken in situaties die binnen het gearceerde gebied vallen, wordt vastgesteld op basis van projectspecifieke kenmerken als aandeel vrachtverkeer en het lengteprofiel.

Het toepassen van 2 rijstroken in indirecte verbindingswegen (lussen) is niet gewenst, omdat:

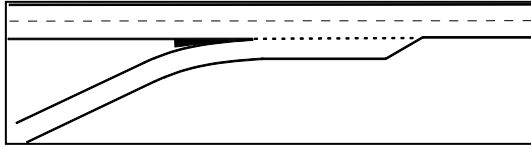
- de toegevoegde capaciteit van de extra rijstrook zeer beperkt is;
- er onveiligheid ontstaat vanwege (onverwachte) snelheidsverschillen doordat bestuurders een verschillende risicoacceptatie hebben;
- er onvoldoende zicht stroomafwaarts is voor verkeer in buitenbocht door afdekking van verkeer in binnenbocht.

In nieuwbouwsituaties worden daarom geen tweestrooks lussen ontworpen. Indien omwille van de capaciteit 1 rijstrook onvoldoende is, wordt een (semi)directe verbindingsweg toegepast. Voor bestaande situaties moet onderscheid gemaakt worden naar drietaks- en viertaksknooppunten:

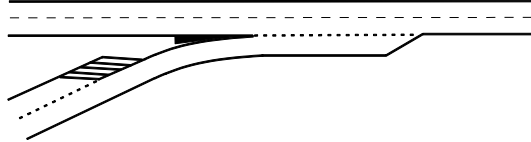
- bij drietaksknooppunten wordt de tweestrooks rijbaan omwille van de verkeersveiligheid bij voorkeur even stroomopwaarts van de lus afgestreept naar 1 rijstrook. Indien dit vanwege doorstroming niet gewenst is, kan een tweestrooks lus worden toegepast mits de stroomopwaarts en stroomafwaarts gelegen discontinuïteiten voldoende capaciteit hebben (I/C -verhouding kleiner dan 0,8);
- bij viertaksknooppunten (klaverbladen) worden meerstrooks lussen niet toegepast.

4.6.4 Invoeging

Een invoeging is een convergentiepunt waar verkeer vanaf een toeleidende rijbaan (parallelbaan, rangeerbaan, verbindingsweg, toerit of afvoerweg van een verzorgingsplaats) via een invoegstrook invoegt in een doorgaande verkeersstroom op een doorgaande rijbaan. Deze invoeging bevindt zich altijd aan de rechterzijde van de doorgaande rijbaan. De doorgaande rijbaan heeft na de invoeging evenveel rijstroken als ervoor. Een principeschets is weergegeven in afbeelding 4.12. De richtlijnen die gelden voor de dimensionering van een invoeging zijn beschreven in paragraaf 6.2.

afbeelding 4.12 Principeschets invoeging

Een invoeging heeft 1 invoegstrook, die wordt voorafgegaan door een toeleidende rijbaan met 1 rijstrook. Wanneer een standaard invoeging onvoldoende capaciteit biedt, kan de toeleidende rijbaan uit twee rijstroken bestaan. In dit geval wordt een samenvoeging toegepast, zie paragraaf 4.6.6. Indien de toeleidende rijbaan uit andere overwegingen dan capaciteitsoverwegingen tweestrooks is, zoals bijvoorbeeld bij een VRI-geregeld kruispunt of na een samenvoeging van 2 rijbanen, wordt de linkerrijstrook van de toeleidende rijbaan vóór de invoeging door middel van een afstreping beëindigd (zie afbeelding 4.13). Een taper-invoeging is niet toegestaan.

afbeelding 4.13 Principeschets invoeging met tweestrooks toeleidende rijbaan

Ter plaatse van een invoeging neemt de dichtheid van het verkeer op de hoofdbaan toe als gevolg van het invoegende verkeer. Doordat het verkeer vanaf de toeleidende rijbaan invoegt, ongeacht de dichtheid van de doorgaande verkeersstroom, kan het voorkomen dat de doorgaande stroom ruimte moet geven aan de invoegende stroom. Een dergelijke situatie heeft een negatief effect op de doorstroming. De mate van verslechtering van de verkeersafwikkeling is afhankelijk van de intensiteit van de doorgaande stroom, de intensiteit van de invoegende stroom, de verhouding tussen deze intensiteiten en het aandeel vrachtverkeer. Immers, als de intensiteit van het invoegende verkeer laag is ten opzichte van de doorgaande stroom, zal de invloed van de invoeging beperkt zijn.

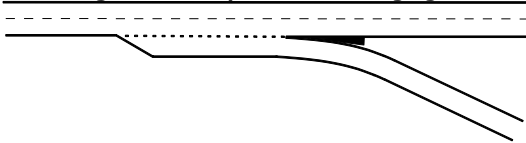
De capaciteit van een invoeging wordt benaderd door de capaciteit van het stroomafwaarts gelegen wegvak. Als uitgangspunt kan worden aangehouden dat de verhouding tussen de som van de intensiteiten van de samenvoegende verkeersstromen en de capaciteit van de doorgaande rijbaan voor het prognosejaar niet groter mag zijn dan 0,8. Wanneer de I/C-verhouding in het prognosejaar groter is dan 0,7, dient de doorstroming aangetoond te worden middels FOSIM.

4.6.5

Uitvoeging

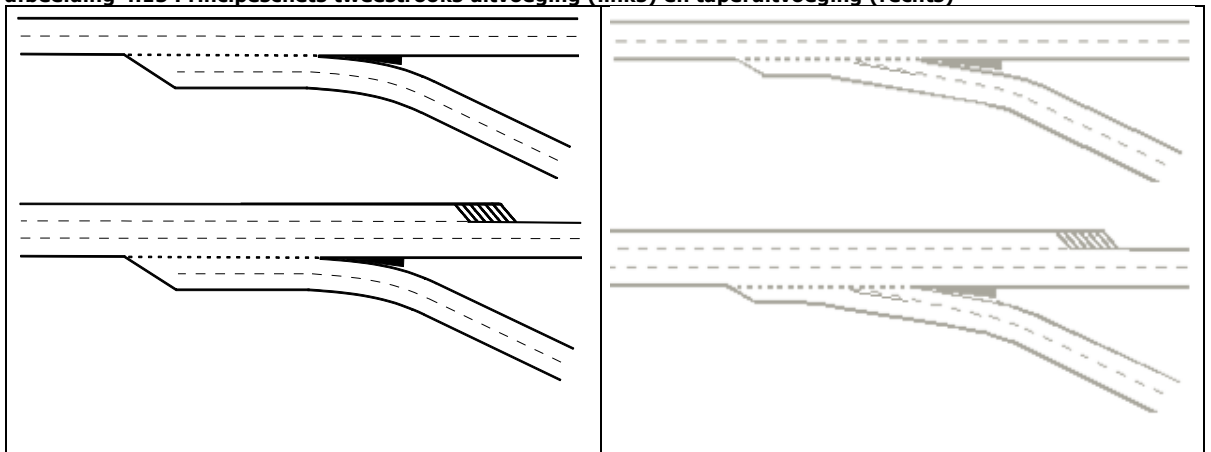
Een uitvoeging is een divergentiepunt waar verkeer vanaf een doorgaande rijbaan via een uitrijstrook uitvoegt naar een afbuigende rijbaan (parallelbaan, rangeerbaan, verbindingsweg, afrit of een aanvoerweg naar een verzorgingsplaats). Een uitvoeging bevindt zich altijd aan de rechterzijde van de doorgaande rijbaan. De doorgaande rijbaan heeft na de uitvoeging evenveel rijstroken als ervoor. Een principeschets is weergegeven in afbeelding 4.14. De richtlijnen die gelden voor de dimensionering van een uitvoeging zijn beschreven in paragraaf 6.3.

afbeelding 4.14 Principeschets uitvoeging



Een standaard uitvoeging heeft 1 uitrijstrook, die wordt gevolgd door een afbuigende rijbaan met 1 rijstrook. Indien uit capaciteitsoverwegingen meerdere rijstroken nodig zijn, kan een meerstrooks uitvoeging worden toegepast. Mogelijke oplossingen zijn weergegeven in afbeelding 4.15.

afbeelding 4.15 Principeschets tweestrooks uitvoeging (links) en taperuitvoeging (rechts)



De tweestrooks uitvoeging mag altijd worden toegepast. De taperuitvoeging is onwenselijk vanuit het oogpunt van verkeersveiligheid (grote snelheidsverschillen door hoge snelheden op taper, afdekking van wachtrij). Een taperuitvoeging wordt daarom bij voorkeur niet toegepast, en indien wel onder strikte voorwaarden:

- de taperuitvoeging kent alleen toepassing in knooppunten waar voldoende afstroming is geborgd;
- de taperuitvoeging mag alleen worden toegepast bij divergentiepunten in aansluitingen wanneer aangetoond wordt dat er nooit terugslag van niet, of slecht afstromend verkeer ontstaat;
- er dient voldoende lengte en zicht te zijn op het kruispunt of de discontinuïteit stroomafwaarts;
- er dient een duidelijke motivatie te zijn om af te wijken van de standaard tweestrooks uitvoeging;
- de vormgeving van een taperuitvoeging dient altijd te voldoen aan de standaard vormgevingseisen (zie paragraaf 6.3);
- de doorstroming van taperuitvoegingen dient altijd aangetoond te worden middels FOSIM onder de specifieke projectomstandigheden.

Bij een uitvoeging blijft het aantal rijstroken op de doorgaande rijbaan gelijk en wordt de intensiteit als gevolg van het uitvoegende verkeer lager. Zodoende is er geen reden om aan te nemen dat de capaciteit wordt beperkt. Er zijn twee situaties waarin de capaciteit wel beperkt kan worden:

- als er filevorming op de uitrijstrook ontstaat. Dit kan bijvoorbeeld komen door terugslag/filevorming vanwege een bottleneck onderaan de afrit, zoals verkeerslichten. Doordat het verkeer op de afrit stil staat of langzamer rijdt, wordt ook het verkeer op de hoofdbaan gehinderd, met een capaciteitsdaling als gevolg;

- als er een (zeer) groot aandeel verkeer gebruik maakt van de uitvoeging:
 - aangenomen mag worden dat de capaciteit van de uitrijstrook ruim lager is dan de capaciteit van een doorgaande rijstrook. Dit komt door de uitvoegbewegingen en de lagere snelheid als gevolg van deceleratie op de uitrijstrook. De lagere capaciteit kan tot hinder en/of terugslag op de hoofdbaan leiden;
 - stroomopwaarts van de uitvoeging kan de intensiteit op de rechterrijstrook toenemen door voorsorteerbewegingen. Bij hoge intensiteiten leidt dit tot een snelheidsdaling en daarmee mogelijk tot een daling van de capaciteit. Dit treedt met name op bij meerstrooks uitvoegingen, omdat de uitvoegende stromen hier relatief groot zijn. Daarom dient bij meerstrooks uitvoegingen altijd (aanvullende) bebording en/of bewegwijzering die de meerstrooks uitvoeging aankondigt te worden aangebracht.

4.6.6

Samenvoeging

Een samenvoeging is een convergentiepunt waar gelijkwaardige verkeersstromen van twee rijbanen samenkomen onder een flauwe hoek. De doorgaande rijbaan heeft na de samenvoeging een aantal rijstroken dat in standaardsituaties gelijk is aan de som van de samenvoegende rijstroken stroomopwaarts van het convergentiepunt.

Twee bij elkaar komende hoofdbanen worden altijd geconvergeerd met een samenvoeging.

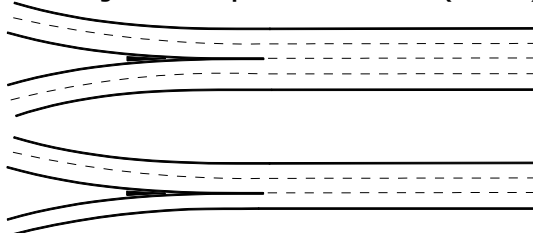
Voor toepassing van een samenvoeging dient aan minimaal één van de volgende twee voorwaarden te worden voldaan:

- 1 de toeleidende rijbaan wordt om redenen van capaciteit meerstrooks uitgevoerd, en/of;
- 2 er is sprake van gelijkwaardigheid van de bij elkaar komende rijbanen, wat als volgt tot uiting kan komen als er sprake is van samenvoeging van een hoofdbaan-hoofdbaan, parallelbaan-parallelbaan of verbindingsweg-verbindingsweg.

Dit betekent dat een samenvoeging niet wordt toegepast in geval van convergentie met een toerit, tenzij deze toerit om redenen van capaciteit meerstrooks is uitgevoerd. Bij een drukke eenstrooks toerit wordt bij voorkeur een stroomopwaartse verbreding op de autosnelweg in combinatie met een invoeging toegepast (in plaats van eenstrooks samenvoeging), zodat vrachtverkeer geen rijstrookwisselingen hoeft uit te voeren. De richtlijnen die gelden voor de dimensionering van een samenvoeging zijn beschreven in paragraaf 6.4. Samenvoegingen worden ook niet toegepast bij afvoerwegen van verzorgingsplaatsen.

Het toepassen van een samenvoeging leidt tot rijstrookwisselingen voor vrachtverkeer. Het vrachtverkeer dat vanaf de linkerrijbaan komt, dient na de samenvoeging één of meer rijstroken te wisselen om op de rechterrijstrook te komen. Vanwege het snelheidsverschil tussen vrachtverkeer en personenauto's is dit nadelig voor de doorstroming en de verkeersveiligheid. Zodoende dienen situaties waarbij samenvoegingen na enige afstand worden gevolgd door een splitsing zoveel mogelijk te worden vermeden, tenzij duidelijk aangegeven met markering en bebording (asymmetrisch weefvak).

afbeelding 4.16 Principeschets standaard (zuivere) samenvoeging



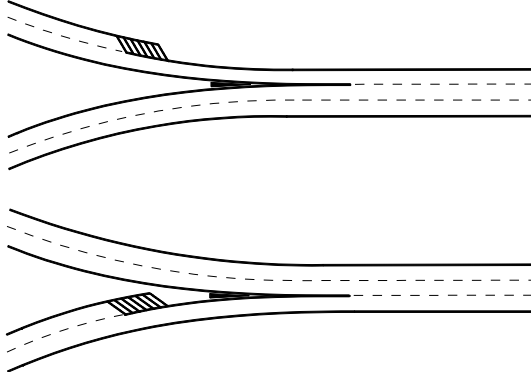
Indien bij de samenvoeging het aantal rijstroken voor en na de samenvoeging gelijk is (zuivere samenvoeging), heeft de samenvoeging nauwelijks gevolgen voor de capaciteit. De invloed van rijstrookwisselingen, die optreden als gevolg van de herschikking van de voertuigtypen over de rijstroken, is beperkt.

Naast de standaard (zuivere) samenvoeging kan ook gekozen worden voor een samenvoeging met een afnemend aantal rijstroken. In dergelijke situaties is er wel sprake van een capaciteitsreductie. Wanneer de I/C-verhouding op één van de toeleidende rijbanen of de samengevoegde rijbaan in het prognosejaar groter is dan 0,7, dient de doorstroming voor dit type samenvoeging aangetoond te worden middels FOSIM.

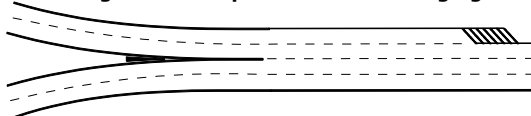
Veelal zal stroomafwaarts van het convergentiepunt uit het oogpunt van capaciteit de som van het benodigd aantal rijstroken kleiner zijn dan stroomopwaarts van het convergentiepunt. Dit kan leiden tot drie situaties, in volgorde van voorkeur:

1. terugbrengen van het aantal rijstroken op de linker of rechter toeleidende rijbaan voor de samenvoeging (afbeelding 4.17);
2. terugbrengen van het aantal rijstroken op de doorgaande rijbaan na de samenvoeging (afbeelding 4.18);
3. terugbrengen van het aantal rijstroken ter plaatse van het convergentiepunt middels een tapersamenvoeging (afbeelding 4.19).

afbeelding 4.17 Principeschets samenvoeging met rijstrookbeëindiging voor convergentiepunt



afbeelding 4.18 Principeschets samenvoeging met rijstrookbeëindiging na convergentiepunt



afbeelding 4.19 Principeschets tapersamenvoeging



Ad 1) In de situatie waarbij de rijstrookvermindering stroomopwaarts van het convergentiepunt wordt toegepast, wordt gesproken over een onzuivere samenvoeging. Het verminderen van het aantal rijstroken op de rechterrijbaan heeft als bijkomend voordeel dat het

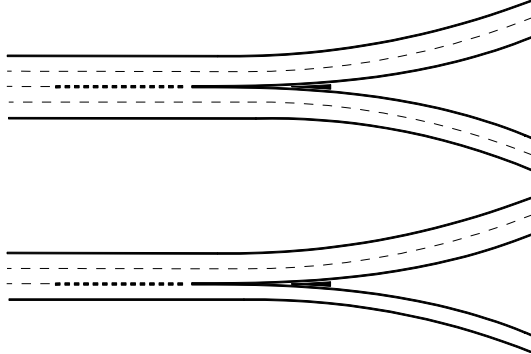
vrachtverkeer vanaf de linkerrijbaan een rijstrook minder hoeft te wisselen. Dit heeft een positieve invloed op de capaciteit.

- Ad 2) Indien het uit het oogpunt van capaciteit niet mogelijk is om al voor de samenvoeging een rijstrookvermindering toe te passen, wordt een standaard samenvoeging gevolgd door een rijstrookbeëindiging toegepast, waarbij de linkerstrook komt te vervallen. Het nadeel van deze oplossing ten opzichte van een rijstrookvermindering voor de samenvoeging is het extra ruimte beslag:
- in de lengterichting heeft deze oplossing over een langere lengte invloed op het ontwerp vanwege de turbulentielengtes, zie paragraaf 6.1.5;
 - in de breedte heeft deze oplossing extra ruimtebeslag vanwege het grotere verhardingsoppervlak.
- Ad 3) De tapersamenvoeging heeft een negatieve invloed op de verkeersveiligheid en verkeersdoorstroming. Daarom gelden de volgende eisen:
- er dient een duidelijke motivatie te zijn om af te wijken van de standaard samenvoegingsvormen, bijvoorbeeld ruimtegebrek in lengterichting of rijstrookwisselingen van vrachtverkeer;
 - de tapersamenvoeging mag alleen worden toegepast bij convergentiepunten waar minimaal de rechts toeleidende rijbaan een niet-hoofdbaan is, vanwege het ongeschikte karakter hiervan;
 - de tapersamenvoeging mag alleen worden toegepast op een doorgaande rijbaan met minimaal twee doorgaande rijstroken om ruimte voor uitwijken te bieden;
 - de taperende rijstrook wordt niet toegepast (nieuwbouw) of afgekruist (bestaande situaties) wanneer de I/C-verhouding leidt tot onveilige verkeerssituaties, hetgeen optreedt bij I/C-verhoudingen $> 0,7$ op een van de toeleidende rijbanen;
 - de vormgeving van een tapersamenvoeging dient altijd te voldoen aan de standaard vormgevingseisen (zie paragraaf 6.4);
 - de doorstroming van tapersamenvoegingen dient altijd aangetoond te worden middels FOSIM met de specifieke projectomstandigheden;
 - Het is niet toegestaan na een tapersamenvoeging de rechter rijstrook als een invoeging af te strepen.

4.6.7 *Splitsing*

Een splitsing is een divergentiepunt waar één rijbaan overgaat in twee rijbanen met gelijkwaardige verkeersstromen. In standaardsituaties is de som van de rijstroken over de rijbanen voor en na de splitsing gelijk. Een schematische weergave van de standaardoplossing is weergegeven in afbeelding 4.20. De richtlijnen die gelden voor dimensionering van een splitsing zijn beschreven in paragraaf 6.5.

afbeelding 4.20 Principeschets standaard splitsing



De vormgeving van het divergentiepunt moet altijd in overeenstemming zijn met de netwerkvisie. Een splitsing wordt daarom alleen toegepast indien aan de volgende twee voorwaarden wordt voldaan:

1. er is sprake van gelijkwaardigheid van de splitsende rijbanen, wat als volgt tot uiting kan komen als er sprake is van splitsing naar een hoofdbaan-hoofdbaan, parallelbaan-parallelbaan, of verbindingsweg-verbindingsweg;
2. minimaal één van de volgende voorwaarden:
 - voor de rechtse gesplitste rijbaan zijn uit het oogpunt van capaciteit twee of meer rijstroken nodig, en/of;
 - voor de linkse gesplitste rijbaan zijn stroomafwaarts van het divergentiepunt uit het oogpunt van capaciteit minder rijstroken nodig dan het totaal aantal rijstroken stroomopwaarts van het divergentiepunt, en/of;
 - er is sprake van een beëindiging van een hoofdbaan (T-knooppunt).

ad 1. Naast bovengenoemde splitsingen van gelijkwaardige rijbanen is het ook toegestaan een rijbaan te splitsen bij het naderen van een parallelbaan of een rangeerbaan, indien er sprake is van een groot aandeel afbuigend verkeer. Om het aantal rijstrookwisselingen voor doorgaand (vracht)verkeer en daarmee de turbulentie bij dergelijke splitsingen te beperken, wordt niet meer dan de rechtse rijstrook afgesplitst. Dit afsplitsende rijbaangedeelte kan ter hoogte van de blokmarkering wel verbreed worden naar 2 rijstroken om voldoende capaciteit te bieden.

ad 2. Omdat ter plaatse van een afrit of aanvoerweg naar een verzorgingsplaats geen sprake is van gelijkwaardigheid, is een splitsing in dergelijke situaties niet toegestaan. Bovendien creëert een splitsing de verwachting dat de maatvoering na divergentie gehandhaafd blijft, hetgeen in het geval van een afrit en aanvoerweg misleidend is; de verwachting wordt gewekt dat de snelweg niet wordt verlaten

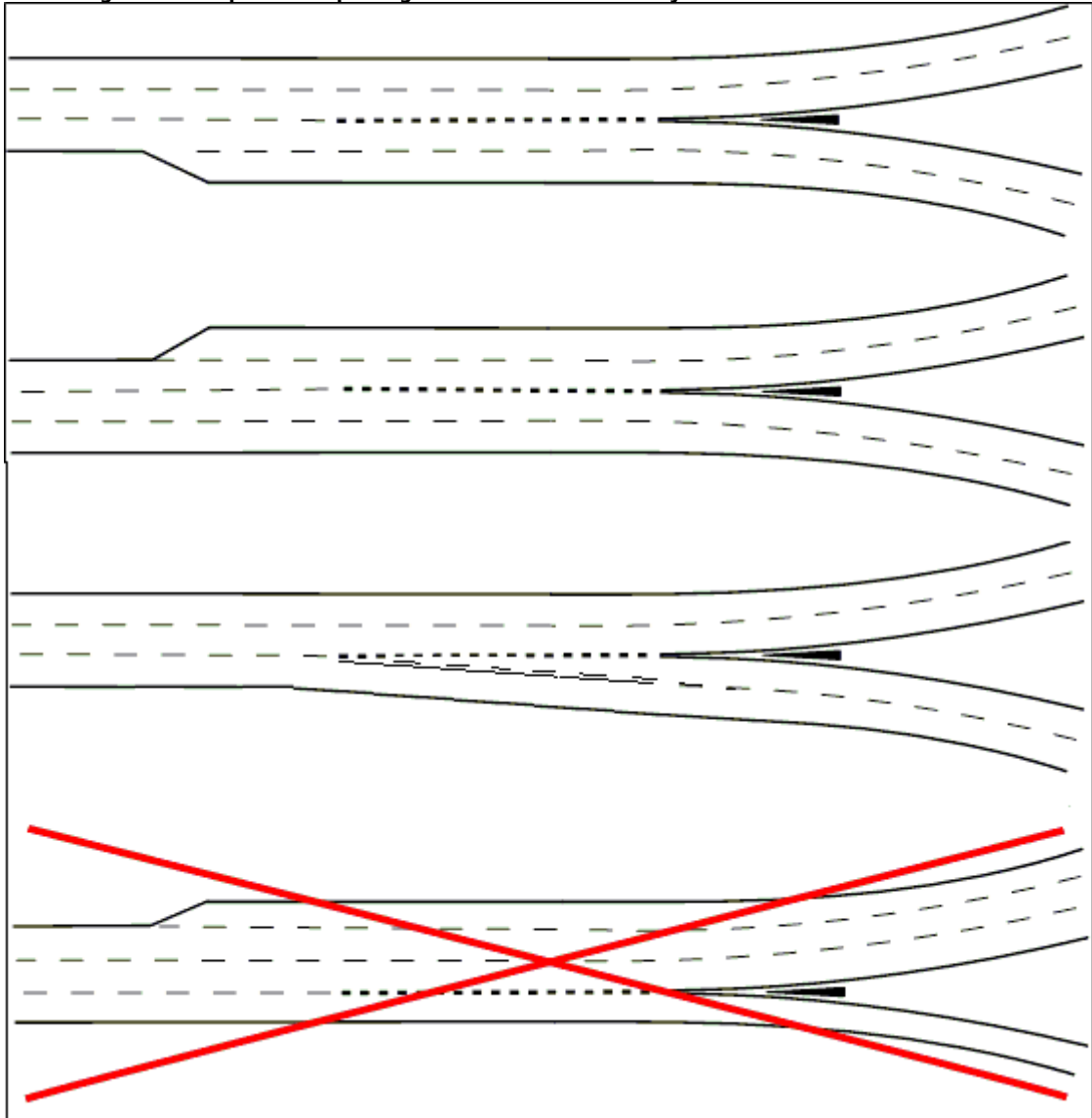
Ten opzichte van een uitvoeging heeft de splitsing als nadeel dat er meer turbulentie (en daarmee capaciteitsverlies) optreedt als gevolg van vroegtijdige rijstrookwisselingen door met name vrachtverkeer.

Indien uit het oogpunt van capaciteit de som van het aantal rijstroken na de splitsing groter dient te zijn dan ervoor, dan dient voor de inrichting de volgende volgorde aangehouden te worden:

1. toevoeging van een rijstrook aan de rechterzijde van de rijbaan;
2. toevoeging van een rijstrook aan de linkerzijde van de rijbaan;
3. toevoeging van een rijstrook door middel van een taper vormige verbreding.

In afbeelding 4.21 zijn de bovengenoemde oplossingen schematisch weergegeven in respectievelijke volgorde.

afbeelding 4.21 Principeschets splitsing met toenemend aantal rijstroken



Verbredingen aan de linkerzijde worden doorgaans beter benut dan verbredingen aan de rechterzijde. Een nadeel van een verbreding aan de linkerzijde is echter dat het vrachtverkeer meerdere rijstrookwisselingen moet uitvoeren om op de linkerrijbaan te komen. Bij splitsingen mag het bovendien niet voorkomen dat vrachtverkeer vanaf de rechterrijstrook meer dan twee rijstrookwisselingen moet uitvoeren. De keuze voor het type verbreding dient zodoende gebaseerd te worden op het aandeel vrachtverkeer op de beide stroomafwaartse rijbanen.

Een toevoeging van een rijstrook aan de linkerzijde wordt alleen toegepast indien de uitvoegende rijbaan omwille van capaciteit uit minimaal twee rijstroken bestaat. Als dit niet het geval is, wordt een uitvoeging in plaats van een splitsing toegepast. Tapervormige verbredingen zijn mogelijk in knooppuntsconfiguraties, maar hebben niet de voorkeur. Een taper wordt toegepast als er onvoldoende ruimte (in de lengte) is voor een toevoeging van een rijstrook aan de rechterzijde, dit bevordert de doorstroming, aanduiding en verkeersveiligheid ten opzichte van een te korte extra rechter rijstrook.

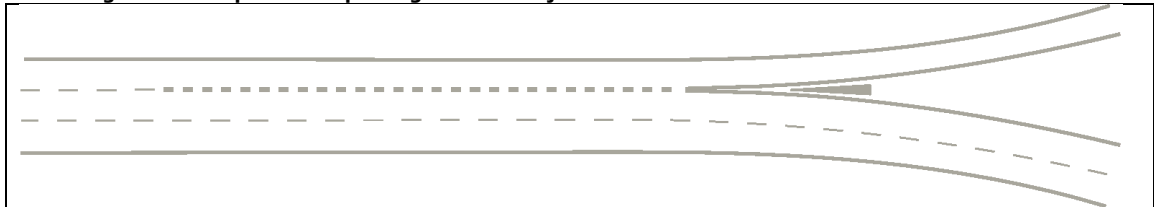
Indien direct na het divergentiepunt van de splitsing opnieuw een divergentiepunt gesitueerd is (zoals bijvoorbeeld op rangeerbanen bij klaverbladen), wordt dit tweede divergentiepunt bij voorkeur vormgegeven als een uitvoeging.

Indien het totaal aantal rijstroken stroomafwaarts van de splitsing gelijk is aan het aantal rijstroken stroomopwaarts van de splitsing, mag aangenomen worden dat er slechts in beperkte mate sprake is van een capaciteitsreductie, tenzij de splitsingsfracties erg ongelijk zijn en/of er relatief veel vrachtverkeer naar de linkse afbuigende rijbaan moet. Wanneer de I/C-verhouding op de toeleidende rijbaan of één van de gesplitste rijbanen in het prognosejaar groter is dan 0,7, dient de doorstroming van de splitsing aangetoond te worden middels FOSIM.

Splitsing naar 1+2 rijstroken

Een splitsing naar 1+2 rijstroken wordt gezien als een situatie waarbij verkapt aan de linkerkant wordt uitgevoerd. Deze oplossing heeft nooit de voorkeur boven een splitsing naar 2+1 rijstroken en wordt niet toegepast op doorgaande hoofdbanen. Een splitsing naar 1+2 geeft immers al ruim stroomopwaarts van het divergentiepunt een turbulente verkeersstroom, en sluit bovendien niet aan bij de verwachting van de weggebruiker om aan de rechterzijde de hoofdstroom te verlaten. Daarnaast voldoet deze oplossing niet aan de AGR.

afbeelding 4.22 Principeschets splitsing naar 1+2 rijstroken



Een splitsing naar 1+2 rijstroken is, onder voorwaarde, acceptabel op parallel- en rangeerbanen en in uitzonderingsgevallen bij beëindiging van hoofdbanen, omdat weggebruikers dan alert zijn om benodigde manoeuvres uit te voeren en omdat deze rijbanen juist bedoeld zijn voor het afwikkelen van een turbulente verkeersstroom. De voorwaarde is dat de toegepaste bewegwijzering voldoende duidelijke informatie biedt aan de weggebruiker, zodat hij op de hoogte is van de naderende discontinuïteit (met name bij einde van een hoofdbaan). Daarnaast dient de rijbaan aan de linker kant van het puntstuk gecontinueerd te worden met dezelfde ontwerpsnelheid en wegcategorie.

4.6.8

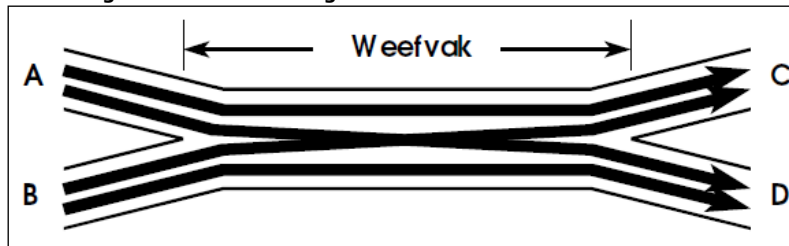
Weefvak

Een weefvak is een wegvak waarbinnen een invoegende rijbaan en een uitvoegende rijbaan direct met elkaar verbonden zijn door middel van één of meerdere extra rijstroken aan de rechter zijde van de doorgaande rijbaan indien dat vanuit turbulentie of bewegwijzering noodzakelijk is.

Een deel van de weggebruikers moet in het weefvak van rijstrook wisselen om de gewenste route te kunnen vervolgen. Deze rijstrookwisselingen leiden tot een verhoogde mate van turbulentie en dit heeft een negatief effect op de doorstroming en de verkeersveiligheid. De capaciteit van de rijstroken in een weefvak is daarom lager dan de capaciteit van rijstroken in een continu wegvak.

Bij het ontwerp van een weefvak is het zodoende van groot belang aandacht te besteden aan de capaciteit. De richtlijnen die gelden voor dimensionering van een weefvak zijn beschreven in paragraaf 6.6.

afbeelding 4.23 Schematisering weefvak



De capaciteit van een weefvak is afhankelijk van de volgende factoren:

- wegfactoren:
 1. het aantal rijstroken per voertuigstroom;
 2. de weefvakconfiguratie;
 3. de weefvaklengte;
- verkeersstroomfactoren:
 4. verkeersstromen;
 5. verkeerssamenstelling;
 6. snelheid op de toeleidende rijbanen.

Voor het bepalen van de capaciteit van een weefvak als functie van bovenstaande invloedsfactoren, wordt verwezen naar het Handboek CIA. In het onderstaande zijn de invloedsfactoren kort toegelicht.

ad 1). De omvang van de stromen op een weefvak is bepalend voor het aantal rijstroken dat er in totaal en per bestemming benodigd is. Dit bepaalt vervolgens ook het benodigd aantal rijstroken stroomafwaarts van het weefvak.

ad 2). De weefvakconfiguratie wordt gebaseerd op de onderlinge verhouding van de vier deelstromen binnen de totale stroom. Er zijn twee mogelijkheden:

- de doorgaande stromen ($A \rightarrow C$, $B \rightarrow D$) zijn het grootst;
- de kruisende stromen ($A \rightarrow D$, $B \rightarrow C$) zijn het grootst⁷;
- één van de kruisende stromen is het grootst.

Wanneer beide doorgaande stromen of beide kruisende stromen het grootst zijn, ligt de keuze voor een symmetrisch weefvak veelal voor de hand. Het totaal aantal rijstroken van de samenkomende rijbanen is dan gelijk aan dat van de uit elkaar gaande rijbanen. Bovendien liggen het convergentie- en divergentiepunt in het verlengde van dezelfde markeringslijn. Bij één grote kruisende stroom wordt eerder gekozen voor een asymmetrisch weefvak. Het aantal noodzakelijke rijstrookwisselingen voor bestuurders in de grote kruisende stroom wordt hiermee geminimaliseerd, waardoor ook de mate van turbulentie geminimaliseerd wordt. Bestuurders in de kleine kruisende stroom moeten daarentegen minimaal tweemaal van rijstrook wisselen.

Voor weefvakken met grote verkeersstromen is het altijd nodig om door middel van microscopische verkeerssimulaties (FOSIM) te bepalen wat de gewenste configuratie is.

ad 3). De weefvaklengte is de benodigde lengte voor het vinden van een geschikt hiaat voor een wevende beweging, in combinatie met de benodigde lengte voor de daadwerkelijke wefbeweging. Een langer weefvak leidt tot een hogere capaciteit. Voor symmetrische weefvakken geldt deze capaciteitstoename tot een weefvaklengte (ca. 700 m). Boven deze lengte is de toename in capaciteit te verwaarlozen. Dit komt omdat de meeste (85%)

⁷ In deze situatie dient geanalyseerd te worden of de toeleidende of wegleidende rijbanen elkaar stroomopwaarts respectievelijk stroomafwaarts van het weefvak ongelijkvloers kunnen kruisen, opdat het aantal wefbewegingen geminimaliseerd wordt.

bestuurders geneigd zijn hun weef-beweging in de eerste 300 meter van het weefvak uit te voeren.

De weefvaklengte dient altijd te voldoen aan de lengte die minimaal benodigd is voor bewegwijzering (zie paragraaf 6.6).

ad 4). De capaciteit van een weefvak is sterk afhankelijk van:

- welke verkeersstroom welke rijstrook gebruikt;
- hoe de doorgaande en kruisende stromen zich qua omvang tot elkaar verhouden.

In extreme gevallen functioneert een weefvak zelfs als een 'gewone' in- of uitvoeging met name bij symmetrische weefvakken. Het grootste negatieve effect op de capaciteit heeft een weefvak waarvan de uitvoegende en de invoegende strook beide groot zijn. Invoegende en uitvoegende bestuurders zijn beide geneigd om direct na het eerste puntstuk van rijstrook te wisselen, zonder het hele weefvak te benutten. Een zware kruisende beweging binnen een beperkte ruimte leidt lokaal tot een hoge mate van turbulentie en daarmee een sterke reductie van de capaciteit.

ad 5). De verkeerssamenstelling beïnvloedt de capaciteit door de snelheid waarmee weefbewegingen kunnen plaatsvinden. Voertuigen met een lager acceleratievermogen en/of grotere voertuiglengte beïnvloeden de capaciteit negatief, omdat de hiaatacceptatie aanzienlijk lager ligt. Concreet betekent dit, dat bij het ontwerp van een weefvak rekening gehouden dient te worden met het aandeel vrachtverkeer.

ad 6). Bij aanzienlijke snelheidsverschillen tussen de toeleidende rijbanen, beïnvloedt dit snelheidsverschil de snelheid op beide rijbanen. Indien de snelheid van de wevende stromen daalt tot beneden de snelheid waarbij normaal gesproken de capaciteit wordt gehaald, ontstaat capaciteitsverlies. De kans hierop treedt met name op bij ongelijkwaardige weefvakken, waarbij er sprake is van een weefvak tussen een toe- en een afrit (zie paragraaf 6.6).

4.6.9 *Strookbeëindiging*

De capaciteit van een situatie met rijstrookbeëindiging is gelijk aan de capaciteit van het aantal rijstroken stroomafwaarts van de rijstrookbeëindiging. Zie hiervoor tabel 4.2. De richtlijnen die gelden voor dimensionering van een rijstrookbeëindiging zijn beschreven in paragraaf 6.7.

Een rijstrookbeëindiging kan worden toegepast zodra een reductie van het aantal rijstroken uit het oogpunt van capaciteit mogelijk is. Dit kan het geval zijn:

- stroomopwaarts van een invoeging op toerit: stroomopwaarts van een invoeging wordt op de toerit altijd een rijstrookbeëindiging toegepast indien dit uit het oogpunt van capaciteit mogelijk is. Zie afbeelding 4.13;
- stroomopwaarts van een samenvoeging: stroomopwaarts van een samenvoeging wordt op de rijbanen waar dit uit het oogpunt van capaciteit mogelijk is een rijstrookbeëindiging toegepast. Zie afbeelding 4.17;
- stroomafwaarts van een samenvoeging: het is denkbaar dat na samenvoeging de som van het aantal rijstroken die voor het convergentiepunt aanwezig waren, na het convergentiepunt niet meer nodig zijn uit het oogpunt van capaciteit. Zie afbeelding 4.18;
- stroomafwaarts van een splitsing of uitvoeging: na afsplitsing of uitvoeging van een deel van de verkeersstroom, kan een rijstrook worden afgestreept indien dit uit het oogpunt van capaciteit mogelijk is. Voor een situatie met een uitvoeging zie afbeelding 4.15;
- bij beëindiging van een lange en/of steile verticale opgaande helling: de extra (inhaal)strook die ten gevolge van de grote snelheidsverschillen bij een lange en/of steile verticale rechtstand werd toegevoegd, kan worden beëindigd zodra de snelheidsterugval van het vrachtverkeer weer kleiner is dan 20 km/u.

Ook kan een rijbaanversmalling noodzakelijk zijn ten gevolge van een dwangpunt. Rijstrookbeëindigingen worden niet toegepast in weefvakken en altijd op voldoende afstand van andere discontinuïteiten, zie ook de turbulentieafstanden in paragraaf 6.1.6.

4.6.10 *Extra rijstrook*

De capaciteit van een situatie met extra rijstrook is gelijk aan de capaciteit van het aantal rijstroken stroomopwaarts van de rijstrooktoevoeging. Zie hiervoor tabel 4.2. De richtlijnen die gelden voor de dimensionering van het begin van een extra rijstrook zijn beschreven in paragraaf 6.8.

Opgemerkt wordt dat deze capaciteit vaak alleen maar gebruikt wordt wanneer er sprake is van lange, opgaande hellingen. In de overige gevallen is immers het maximale verkeersaanbod ter plaatse beperkt door de capaciteit van het aantal rijstroken stroomopwaarts van de rijstrooktoevoeging. Deze capaciteit is per definitie lager dan de capaciteit direct stroomafwaarts van de rijstrooktoevoeging.

Een rijstrook kan een bepaald aantal voertuigen per tijdseenheid verwerken. Het aantal rijstroken dient daarom afgestemd te worden op het (verwachte) verkeersaanbod. Daardoor kan er noodzaak ontstaan een extra rijstrook toe te passen. In de volgende situaties kan sprake zijn van extra benodigde capaciteit in de vorm van een extra rijstrook:

1. stroomafwaarts van een invoeging;
2. stroomopwaarts van een splitsing;
3. stroomopwaarts van en gedurende een lange en/of steile verticale opgaande helling.

Ad 1. Na invoegingen

Vanwege het toenemende verkeersaanbod na een invoeging, kan er behoefte zijn aan een extra rijstrook.

Om de ongelijkwaardigheid van de toeleidende rijbaan van niet-autosnelwegen ten opzichte van de doorgaande rijbaan in stand te houden, worden bij aansluitingen geen samenvoegingen toegepast. Bovendien dient het doorgaande vrachtverkeer, vooral vertegenwoordigd op de doorgaande rijbaan, bij een samenvoeging een rijstrookwisseling uit te voeren. Een samenvoeging wordt alleen toegepast bij gelijkwaardige samenkomende wegen.

Ad 2. Voor splitsingen

Bij splitsingen kan het noodzakelijk zijn dat de som van het benodigd aantal rijstroken van de afbuigende rijbanen uit het oogpunt van capaciteit stroomafwaarts van het divergentiepunt groter is dan stroomopwaarts van het divergentiepunt. Om het wegvak stroomopwaarts van het divergentiepunt aan te laten sluiten op de beide rijbanen, wordt stroomopwaarts van het divergentiepunt een extra rijstrook toegevoegd.

Ad 3. Voor lange en/of steile verticale hellingen

Stroomopwaarts van een lange en/of steile verticale opgaande helling kan een extra (inhaal)strook wenselijk zijn ter compensatie van het capaciteitsverlies dat optreedt als gevolg van de optredende snelheidsverschillen. Dit wordt dan vormgegeven als reguliere rijstrook.

4.6.11 *Correctiefactoren voor capaciteit onder niet-ideale omstandigheden*

In veel gevallen kan worden gesproken van niet-ideale omstandigheden. De invloed van deze omstandigheden varieert, evenals de kans dat deze optreden.

Onder andere licht- en weersomstandigheden hebben invloed op de capaciteit. Met wegverlichting respectievelijk aangepaste wegverharding kan de afname van de capaciteit worden beperkt. In tabel 4.4 zijn reductiefactoren voor verschillende omstandigheden opgenomen.

tabel 4.4 Reductiefactoren capaciteit bij ongunstige licht- en/of weersomstandigheden

omstandigheden	reductiefactor
ideale omstandigheden	1,00
duisternis	0,95
wegverlichting	0,97
lichte tot matige regen	0,95
zware regen	0,90

Voor het ontwerpen van autosnelwegen is het uitgangspunt dat de I/C-verhouding altijd kleiner dan, of gelijk aan, 0,8 moet zijn. Hierdoor ontstaat een marge die nodig is om de reductie van capaciteit onder niet-ideale omstandigheden op te kunnen vangen en daarmee de kans op congestie te minimaliseren. Voor nadere toelichting van ongunstige omstandigheden wordt verwezen naar het Handboek CIA.

4.7

Complexiteit

Complexiteit in het wegontwerp doet zich vooral voor op tracé-niveau. Complexiteit wordt gedefinieerd als een verzwaring van de rijtaak. Complexiteit kan in het Functioneel Ontwerp en ten aanzien van het wegbeeld getoetst worden op (combinaties van) de volgende elementen:

- Afstanden tot beslipunten;
- Opeenvolging discontinuïteiten;
- Rijstrookwisselingen;
- I/C verhoudingen (aandeel vrachtverkeer);
- Aantal concurrerende routes met hetzelfde doel;
- Turbulentie;
- Alignement (zie ook paragraaf 5.6);
- Spitsstroken;
- Afvallende rijstroken;
- Afleidende elementen (reclame, bebouwing) .

5 Wegvak

Een wegvak is een gedeelte van de autosnelweg binnen een tracé dat in lengterichting wordt begrensd door een aansluiting, een knooppunt of een discontinuïteit.

Een wegvak is een samenstelling van een alignement en een dwarsprofiel voor één rijrichting, met als randvoorwaarden de zichtlengte en eisen vanuit wegbeeld. Het wegvak vormt zodoende een geheel waarbinnen een continue wegontwerp aanwezig is. In dit hoofdstuk zijn de volgende voor het ontwerp van een wegvak relevante onderwerpen belicht:

- zicht;
- alignement;
- dwarsprofiel;
- ruimtelijke helling;
- wegbeeld.

Het uitgangspunt is dat wanneer een wegvak wordt ontworpen volgens de in dit hoofdstuk beschreven richtwaarden, er een verkeersveilig ontwerp verkregen wordt.

Zicht heeft betrekking op het gehele wegvak en is in alle situaties relevant. Eisen vanuit zicht liggen ten grondslag aan de dimensionering van veel ontwerpelementen. Zicht is daarom aan het begin van dit hoofdstuk beschreven.

Wegbeeld heeft betrekking op gecombineerde elementen. Eisen vanuit wegbeeld hebben tot doel te waarborgen dat er een verkeersveilig en duidelijk wegontwerp ontstaat wanneer de verschillende ontwerpelementen worden samengesteld tot één ontwerp. Deze randvoorwaarden worden gebruikt als een (iteratieve) toetsing achteraf, en zijn daarom aan het einde van dit hoofdstuk beschreven.

5.1 Zicht

Een bestuurder moet zicht hebben op het verloop van de weg om de dwarspositie van het voertuig te kunnen beheersen en om veilig en comfortabel te kunnen inspelen op gebeurtenissen in de lengterichting van de weg. Veiligheid heeft betrekking op het tijdig identificeren van onverwachte gebeurtenissen, zoals stilstaande voertuigen en objecten op de weg. Comfort heeft betrekking op zicht op het verloop van de weg om tijdig en comfortabel de nodige manoeuvres uit te kunnen voeren. Hiervoor moet enerzijds de lengtemarkering van de rijbaan over voldoende afstand zichtbaar zijn en anderzijds moeten veranderingen in het alignement, zoals bogen of rijstrookbeëindigingen, tijdig geïdentificeerd kunnen worden.

Het onderdeel zicht is onder te verdelen in zicht bij continue situaties en zicht bij discontinue situaties. Binnen continue situaties blijft het aantal rijstroken gelijk. Daar waar het aantal rijstroken wijzigt (als gevolg van een discontinuïteit, zie hoofdstuk 6) wordt gesproken over discontinue situaties. Deze paragraaf beperkt zich tot zicht in continue situaties. Discontinue situaties hebben betrekking op gecombineerde elementen. In dat geval wordt gesproken over wegbeeld. De richtlijnen met betrekking tot wegbeeld zijn beschreven in paragraaf 5.6.

Voor zowel continue als discontinue situaties moet altijd worden nagegaan of het ontwerp een controle door middel van visuele wegbeeldanalyse behoeft. Een dergelijke controle op basis van een driedimensionale visualisatie van de weg is nodig wanneer op voorhand niet duidelijk is of de visuele kwaliteit voldoende is, zoals toegelicht in paragraaf 5.6.

zichtcriteria

De zichtcriteria die op alle weggedeelten betrekking hebben, zijn:

- zicht op de voor het uitvoeren van de rijtaak informatieve wegelementen (anticipatiezicht);
- zicht op het verloop van de weg in continue situaties (wegverloopzicht);
- zicht op stilstaand verkeer stroomafwaarts (stopzicht).

Deze paragraaf geeft voor elk van de drie criteria de benodigde zichtlengte. Hierbij geldt als hiërarchie dat altijd voldaan moet worden aan de eisen voor wegverloopzicht en stopzicht. Een goed wegontwerp voldoet ook aan de eisen voor anticipatiezicht, maar bij uitzondering mag hiervan onderbouwd worden afgeweken.

Naast de algemene zichteisen zijn er zichteisen aan specifieke elementen (zoals een puntstuk of rijstookbeëindiging) deze zijn ook in deze paragraaf opgenomen.

zichtlengte

De maatgevende factor voor zicht is de zichtlengte. Zichtlengte is de afstand waarover de bestuurder het direct voor hem liggende deel van de weg kan overzien. Dit is de afstand tussen het waarneempunt en het zichtpunt:

- een waarneempunt is het punt waar het oog van de bestuurder zich bevindt;
- een zichtpunt is het punt waar de bestuurder naar kijkt.

Het waarneempunt in horizontale bogen bevindt zich in alle gevallen op de binnenste rijstrook van de boog. Een vrachtauto heeft een lagere (maximum)snelheid en een grotere ooghoogte (waardoor veelal over een zichtbelemmerend object wordt heengekeken), en is daarom niet maatgevend in reguliere situaties. Op basis van personenauto's en een rijstrookbreedte van 3,50 m bevindt het waarneempunt zich:

- bij een linkse bocht: 1,25 m uit kantstreep links;
- bij een rechtse bocht: 2,25 m uit kantstreep rechts;
- 1,10 m boven de verharding (bij vrachtwagens is dit 2,50 m).

Het zichtpunt verschilt per zichtcriterium. Hierop is ingegaan in de volgende subparagrafen.

De zichtlengte wordt sterk beïnvloed door de snelheid:

- hoe hoger de snelheid, hoe verder de bestuurder naar voren kijkt (rijzicht);
- hoe hoger de snelheid, hoe kleiner de waarnemingshoek (gezichtsveld).

In tabel 5.1 is een overzicht gegeven van maatgevende zichtlengtes per zichtcriterium. In de subparagrafen 5.1.1 tot en met 5.1.3 zijn deze lengtes nader toegelicht.

tabel 5.1 Overzicht maatgevende zichtlengte per zichtcriterium

Type rijbaan		zichtlengte		
		anticipatiezicht	wegverloopzicht	stopzicht
Hoofdbaan	Maatgevende maat	335 m	165 m	260 m
Niet-hoofdbaan (op basis van ontwerpsnelheid)	120 km/u	335 m	165 m	260 m
	90 km/u	230 m	120 m	135 m
	70 km/u	170 m	80 m	80 m
	50 km/u	110 m	40 m	40 m

opbouw zichtlengtes

Voor alle zichtcriteria geldt dat de maatgevende zichtlengtes zijn opgebouwd uit de volgende drie onderdelen:

- herkenningsslengte: de lengte waarover de bestuurder vooruit moet kunnen kijken om een gebeurtenis of object bij ongunstige omstandigheden⁸ eenduidig te kunnen herkennen;
- prt: bepaalt de lengte die wordt afgelegd tijdens de perceptie-reactietijd;
- operationele taak: bepaalt de lengte die volgt uit de tijd die benodigd is voor een operationele taak.

ad 1. De herkenningsslengte is dat deel van het wegvak dat de bestuurder moet kunnen waarnemen om de situatie te kunnen herkennen en in te schatten. Voor de herkenningsslengte is de horizontale boogstraal maatgevend. Een bestuurder kan een boog pas herkennen zodra hij een bepaalde lengte van dit element kan zien. De benodigde lengte is gelijk aan de lengte die overeen komt met drie rijseconden in het betreffende element (een overgangsboog mag dus niet worden meegenomen in de herkenningsslengte van een boog). Het herkennen van andere gebeurtenissen (file of obstakel) is bij een kleinere lengte al mogelijk.

ad 2. De perceptie-reactietijd (prt) is de tijdsduur die nodig is voor achtereenvolgens het doen van een waarneming, het verwerken van de waarneming en het handelen naar aanleiding van de waarneming. De prt is sterk afhankelijk van de wijze waarop de bestuurder op een bepaald moment zijn rijtaak uitvoert. Naarmate de rijnsnelheid hoger wordt, wordt de prt langer, omdat de bestuurder dan zijn blik meer op de horizon richt. Hierdoor wordt zijn gezichtsveld smaller wordt en hij minder gevoelig is voor prikkels rondom hem.

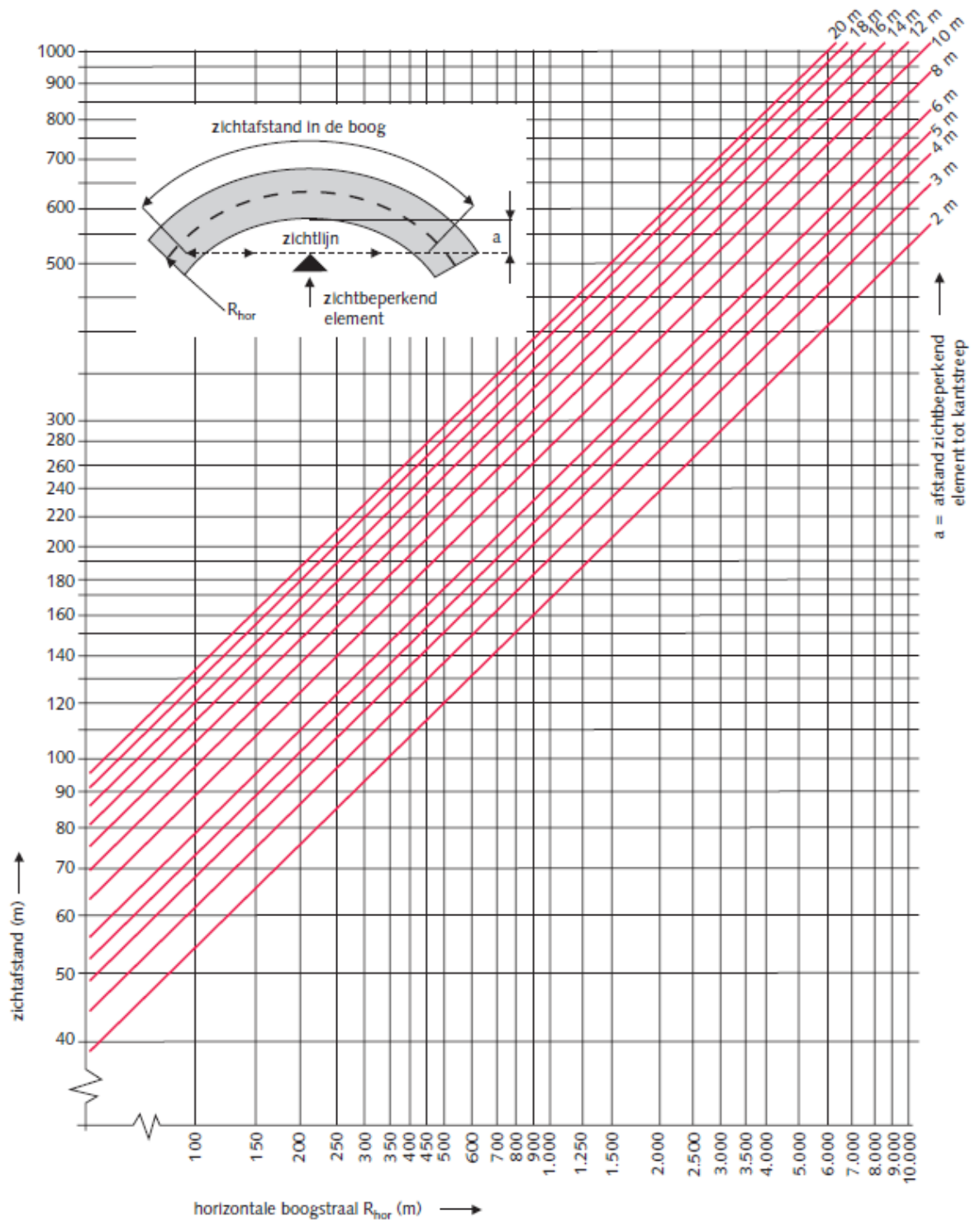
ad 3. De operationele taak is het uitvoeren van de handeling. De tijd die nodig is om de benodigde handeling uit te voeren varieert voor elk type handeling. Hierdoor zijn ook de mogelijkheden voor corrigerende acties per handeling verschillend.

Aandachtspunt

Het dimensioneren van horizontale en verticale bogen met tabel 5.1 leidt niet per se tot de kleinst toepasbare boogstraal. Hierin spelen zichtbelemmerende elementen in de binnenboog, zoals geleiderail, ook een rol. afbeelding 5.1 geeft een inschatting van deze maat. Voor de berekening van deze maat wordt verwezen naar paragraaf 5.1.4.

⁸ Ongunstige omstandigheden zijn bijvoorbeeld regen, duisternis en mist.

afbeelding 5.1 Zichtafstanden in horizontale bogen



5.1.1

Anticipatiezicht

Een bestuurder moet zicht hebben op de weg en de daarbij aanwezige informatie, zodanig dat hij hier comfortabel op kan anticiperen. Bij onvoldoende anticipatiezicht heeft de bestuurder niet voldoende tijd om een potentieel gevaar te kunnen waarnemen en herkennen. De bestuurder wordt dan onzeker over het wegverloop en zal hierop onverwacht en onveilig rijgedrag vertonen.

definitie

Anticipatiezicht is het zicht op het samenspel van de elementen die bepalend zijn voor de herkenning van het verloop van de weg zoals bij de maatgevende situatie zijn beschreven. De zichtlengte is de benodigde lengte waarover een bestuurder deze elementen comfortabel moet kunnen waarnemen om deze informatie comfortabel te kunnen verwerken en indien nodig hierop te reageren.

opbouw zichtlengte

De zichtlengte voor anticipatiezicht is als volgt opgebouwd:

- 1 herkenningslengte: deze lengte dient als zichtbare lengte aanwezig te zijn;
- 2 prt: niet van toepassing;
- 3 operationele taak: niet van toepassing; de laterale regeltaak en het inspelen op gebeurtenissen in de lengterichting van de weg vinden plaats binnen de herkenningslengte.

Over de som van deze lengtes dient het zichtpunt zichtbaar te zijn.

maatgevende situatie

Uitgangspunten bij het bepalen van de zichtlengte voor anticipatiezicht zijn:

- waarneempunt:
 - . bij een linkse bocht: 1,25 m uit kantstreep links;
 - . bij een rechtse bocht: 2,25 m uit kantstreep rechts
 - . 1,10 m boven de verharding;
- zichtpunt: wegmarkering of elk continue repeterend element met een hoogte groter dan 0,5 m ten opzichte van dichtstbijzijnde kant verharding van de betreffende rijbaan. Hieronder vallen de volgende elementen:
 - . bij één of twee rijstroken: kantstreep buitenbocht;
 - . bij meer dan twee rijstroken: de tweede deelstreep (gezien vanaf eigen rijstrook);
 - . afschermingsvoorzieningen;
 - . openbare verlichting;
 - . signalering;
 - . bewegwijzering;
 - . begroeiing hoger dan 1,0 m;
 - . antizichtschermen;
 - . geluidwerende voorzieningen;
 - . hectometerborden;
 - . reflectorpalen.

Indien een bestuurder minimaal één van de bovenstaande elementen binnen zijn zichtlengte kan herkennen, herkent hij hiermee het verloop van de weg en kan hij indien nodig hierop anticiperen.

minimale zichtlengte

In tabel 5.2 staan de minimale zichtlengtes voor anticipatiezicht per ontwerpsnelheid weergegeven.

tabel 5.2 Minimale zichtlengte anticipatiezicht

Type rijbaan		herkenningslengte		prt		operationele taak		maatgevende zichtlengte
		tijd	lengte	tijd	lengte	tijd	lengte	
Hoofdbaan	Minimale maat	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	335 m
Niet-hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	10,0 s	333 m	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	335 m
	90 km/u	9,2 s	230 m	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	230 m
	70 km/u	8,6 s	168 m	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	170 m
	50 km/u	8,0 s	112 m	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	110 m

5.1.2

Wegverloopzicht

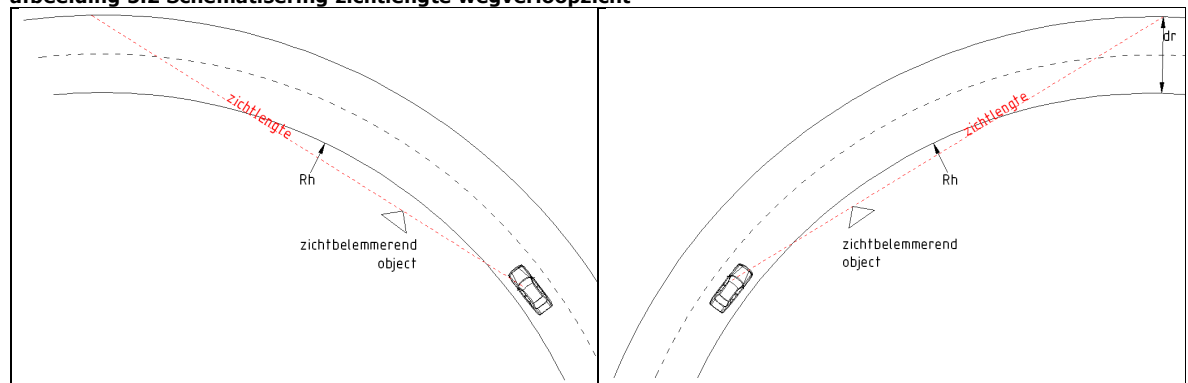
Een bestuurder moet zicht hebben op het verloop van de rijbaanmarkering in continue situaties. Dit is nodig om:

- de dwarspositie van het voertuig te kunnen beheersen;
- veilig en comfortabel te kunnen inspelen op gebeurtenissen in de lengterichting van de weg.

definitie

De zichtlengte op het verloop van de weg in continue situaties (wegverloopzicht) is de benodigde lengte waarover een bestuurder de weg moet kunnen overzien om zijn rijtaak veilig en comfortabel uit te voeren.

afbeelding 5.2 Schematisering zichtlengte wegverloopzicht



opbouw zichtlengte

De zichtlengte voor wegverloopzicht is als volgt opgebouwd:

- 1 herkenningslengte: deze lengte dient als zichtbare lengte aanwezig te zijn;
- 2 prt: deze lengte dient als zichtbare lengte aanwezig te zijn;
- 3 operationele taak: niet van toepassing; de laterale regeltaak en het inspelen op gebeurtenissen in de lengterichting van de weg vinden plaats binnen de herkenningslengte.

Over de som van deze lengtes dient het zichtpunt zichtbaar te zijn.

maatgevende situatie

Uitgangspunten bij het bepalen van de zichtlengte voor wegverloopzicht zijn:

- de maatgevende situatie is zicht op een gecombineerde horizontale boog in een verticale boog;
- waarneempunt:
 - . bij een linkse bocht: 1,25 m uit kantstreep links;
 - . bij een rechtse bocht: 2,25 m uit kantstreep rechts
 - . 1,10 m boven de verharding;
- zichtpunt:
 - . bij één of twee rijstroken: kantstreep buitenbocht moet over de volledige zichtlengte volledig en continue zichtbaar zijn;
 - . bij meer dan twee rijstroken: de tweede deelstreep aan de buitenboogzijde (gezien vanaf eigen rijstrook) moet over de volledige zichtlengte volledig en continue zichtbaar zijn;
- bij uitzondering mag het wegverloopzicht incidenteel gedurende 2 rijseconden afwezig (onderbroken) zijn. Dit kan bijvoorbeeld optreden als gevolg van bewegwijzeringsportalen.

Meestal is een voertuig op de linkerrijstrook in een boog naar links maatgevend, omdat de bestuurder links in de auto zit en zich zodoende het dichtst bij de kantstreep bevindt. Deze situatie heeft de meeste kans op zichtbelemmering door zichtbelemmerende objecten naast de rijbaan. Het zien van de eigen rijstrook en de eventuele naastgelegen rijstrook biedt dan voldoende wegverloopzicht om de rijtaak veilig en comfortabel uit te kunnen voeren. In krappe rechtsdraaiende stralen kan ook het verkeer in de rechterrijstrook maatgevend zijn.

minimale zichtlengte

In tabel 5.3 staan de minimale zichtlengtes voor wegverloopzicht per ontwerpsnelheid weergegeven. Deze waarden zijn van toepassing op situaties met een constante ontwerpsnelheid.

tabel 5.3 Minimale zichtlengte wegverloopzicht

Type rijbaan		herkenningslengte		prt		operationele taak		maatgevende zichtlengte
		tijd	lengte	tijd	lengte	tijd	lengte	
Hoofdbaan	Minimale maat	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	165 m
Niet-hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	3,00 s	100 m	2,00 s	67 m	n.v.t.	n.v.t.	165 m
	90 km/u	3,00 s	75 m	1,75 s	44 m	n.v.t.	n.v.t.	120 m
	70 km/u	2,50 s	49 m	1,50 s	30 m	n.v.t.	n.v.t.	80 m
	50 km/u	2,00 s	28 m	1,00 s	14 m	n.v.t.	n.v.t.	40 m

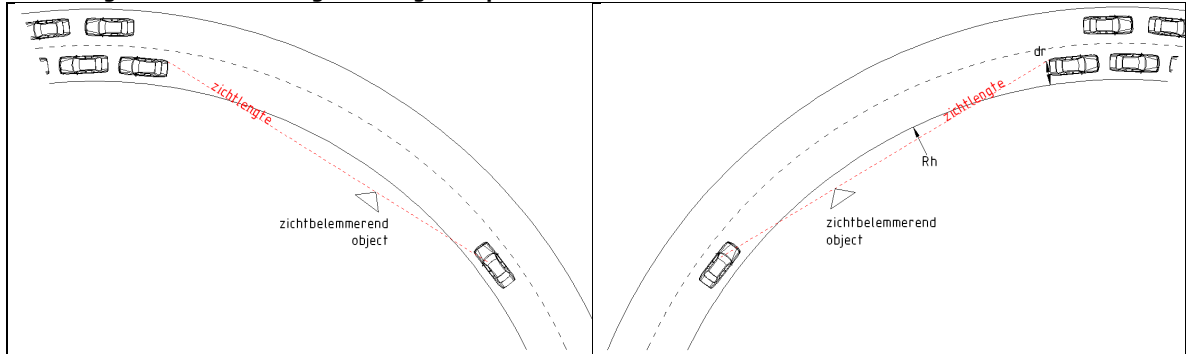
5.1.3 Stopzicht

Wanneer een bestuurder waarneemt dat zijn eigen rijstrook geblokkeerd is, heeft hij de keuze tussen uitwijken of remmen. Uitmijken is niet mogelijk indien het blokkerende obstakel te omvangrijk is. Dit is het geval wanneer er stilstaande voertuigen op alle rijstroken staan of wanneer er maar één rijstrook beschikbaar is. Alleen remmen is dan een optie. De maatgevende situatie voor stopzicht treedt op in geval van stilstaande voertuigen op alle rijstroken, waarvoor een noodstop moet worden gemaakt.

definitie

De zichtlengte op stilstaand verkeer stroomafwaarts (stopzicht) is de afstand waarover een bestuurder de weg moet kunnen overzien om een eventueel aanwezige file (over de volledige rijbaan) te kunnen waarnemen, deze als zodanig te herkennen en om tijdig zijn voertuig tot stilstand te brengen.

afbeelding 5.3 Schematisering zichtlengte stopzicht



opbouw zichtlengte

De zichtlengte voor stopzicht is als volgt opgebouwd:

- 1 herkenningslengte: verwaarloosbaar;
- 2 prt: deze lengte dient als zichtbare lengte aanwezig te zijn;
- 3 operationele taak: de lengte benodigd voor de comfortabele remhandeling tot stilstand dient als zichtbare lengte aanwezig te zijn.

Over de som van deze lengtes dient een achterlicht van het voorgaande voertuig zichtbaar te zijn.

maatgevende situatie

Uitgangspunten bij het bepalen van de zichtlengte voor stopzicht zijn:

- waarneempunt:
 - . bij een linkse bocht: 1,25 m uit kantstreep links;
 - . bij een rechtse bocht: 2,25 m uit kantstreep rechts
 - . 1,10 m boven de verharding;
- zichtpunt: gehele buitenste achterlicht (0,2 m x 0,2 m) op de binnenste rijstrook, onderzijde op 0,50 m boven het wegdek en buitenzijde op 2,30 uit binnenkant kantstreep (gebaseerd op een rijstrookbreedte van 3,50 m);
- daglicht;
- comfortabele vertraging;
- prt: gebaseerd op onverwachte gebeurtenis;
- verwaarloosbaar effect ten gevolge van reductie langswrijving in horizontale bogen;
- voor het berekenen van de benodigde remweg wordt een wrijvingscoëfficiënt gehanteerd, die uitgaat van net niet geblokkeerde wielen (86 % wielslip) bij nat wegdek, gecorrigeerd met een veiligheidsfactor.

minimale zichtlengte

De zichtlengte voor stopzicht wordt bepaald met onderstaande formule, die bestaat uit de som van de prt-afstand en de operationele taak:

$$\text{Stopzichtlengte} = \left[\text{prt} * \frac{v_0}{3,6} \right] + \left[\left(\frac{v_0}{3,6} \right)^2 * \frac{1}{2g \left(f_{ig} + \frac{p}{100\%} \right)} \right]$$

Hierin is:

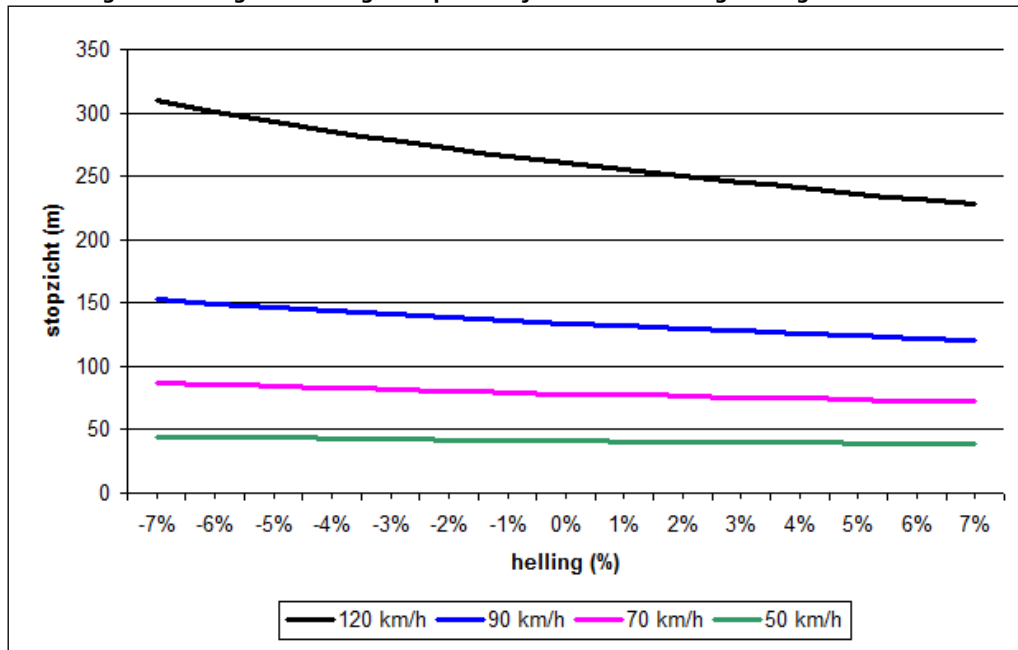
- v_0 : ontwerpsnelheid (km/u);
- g : zwaartekrachtversnelling (9,8 m/s²);
- f_{ig} : gemiddelde wrijvingscoëfficiënt in langsrichting, op basis van 86 % wielslip en nat wegdek;
- p : hellingspercentage.

Hieruit vloeien minimale zichtlengtes voor stopzicht voort (zie tabel 5.4). Deze waarden zijn gebaseerd op een hellingspercentage van 0 %. Indien de rijbaan een langshelling heeft, zijn de waarden in de tabel niet te gebruiken. De zichtlengte is dan te berekenen met de formule of af te lezen uit afbeelding 5.4. Het aan te houden hellingspercentage dient minimaal het gemiddelde hellingspercentage tussen het zichtpunt en het waarneempunt te zijn. Dit gemiddelde percentage mag niet teveel afwijken van het maximum hellingspercentage bij het zichtpunt of het waarneempunt: een voertuig moet tijdig tot stilstand kunnen komen.

tabel 5.4 Minimale zichtlengte stopzicht bij een hellingspercentage van 0%

Type rijbaan		herkenningslengte		prt		operationele taak		wrijvingscoëfficiënt f_{ig}	maatgevende zichtlengte
		tijd	lengte	tijd	lengte	tijd	lengte		
Hoofdbaan	Minimale maat	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	260 m
Niet-hoofdbaan op basis van ontwerp-snelheid	120 km/u	n.v.t.	n.v.t.	2,50 s	83 m	± 11 s	177 m	0,32	260 m
	90 km/u	n.v.t.	n.v.t.	2,00 s	50 m	± 7 s	84 m	0,38	135 m
	70 km/u	n.v.t.	n.v.t.	1,75 s	34 m	± 5 s	45 m	0,44	80 m
	50 km/u	n.v.t.	n.v.t.	1,50 s	21 m	± 2 s	21 m	0,48	40 m

afbeelding 5.4 Benodigde zichtlengte stopzicht bij verschillende langshellingen



5.1.4 Waarnemen, inschatten en herkennen van horizontale bogen

Om een horizontale (krappe) boog goed in te bedden in het samengestelde ontwerp, dient het zicht op drie plaatsen te worden gecontroleerd:

1. voorafgaand aan de boog;
2. in de boog;
3. bij het eind van de boog.

Het voorgaande weggedeelte moet voldoende zicht bieden om de horizontale boog te kunnen waarnemen en herkennen. Een juiste inschatting van de boog kan worden belemmerd door onvoldoende zicht op de boog, door een onjuiste combinatie met het verticale alignement of doordat de boog niet past in het verwachtingspatroon van de bestuurder. In een horizontale boog moet een bestuurder voldoende zicht hebben om te kunnen reageren op situaties die zich stroomafwaarts voordoen. Tijdige waarneming van het einde van de horizontale boog en het opvolgende ruimtelijke element is noodzakelijk.

zicht op de boog voorafgaand aan de boog

Bij het naderen van een boog moet er voldoende zichtlengte aanwezig zijn om de boog te kunnen waarnemen en inschatten. Omdat een bestuurder voldoende zicht op bogen moet hebben, dienen bogen:

- binnen het centrale deel van het gezichtsveld te beginnen (problemen kunnen ontstaan bij een krappe boog ingeleid door een lange overgangsboog);
- niet te beginnen direct voor of na een kunstwerk;
- niet te beginnen direct na een verticale bolle boog.

Bij bogen waarvan de ontwerpsnelheid lager is dan de ontwerpsnelheid van het voorliggende wegvak, waardoor snelheidsaanpassing noodzakelijk is, hebben bestuurders tevens voldoende zichtlengte nodig om benodigde handelingen tijdig te kunnen verrichten. Het maatgevende zichtcriterium voor dergelijke bogen is wegverloopzicht, waarbij de kantstreep van de buitenbocht over de volledige zichtlengte volledig en continue zichtbaar moet zijn. In

tegenstelling tot continue situaties (zie paragraaf 5.1.2) is er echter wel sprake van lengte voor de operationele taak.

Uitgangspunten bij de bepaling van zichtlengte ten behoeve van zicht op een krappe horizontale boog zijn:

- krappe horizontale bogen komen alleen in niet-hoofdbanen voor;
- prt: verlaagde prt gebaseerd op alertere rijhouding op verbindingswegen;
- remvertraging van $2,0 \text{ m/s}^2$.

In tabel 5.5 staan de maatgevende zichtlengtes voor zicht op een krappe horizontale boog per ontwerpsnelheid weergegeven.

tabel 5.5 Standaardwaarden voor zicht op een krappe horizontale boog in niet-hoofdbanen

ontwerpsnelheid		herkenningslengte		prt		operationele taak		totale zichtlengte (afgerond)
voor boog	in boog	tijd	lengte	tijd	lengte	tijd	lengte	
120 km/u	90 km/u	3,0 s	100 m	2,0 s	67 m	4,2 s	122 m	290 m
120 km/u	70 km/u	3,0 s	100 m	2,0 s	67 m	6,9 s	183 m	350 m
120 km/u	50 km/u	3,0 s	100 m	2,0 s	67 m	9,7 s	230 m	400 m
90 km/u	70 km/u	3,0 s	75 m	1,0 s	25 m	2,8 s	62 m	160 m
90 km/u	50 km/u	3,0 s	75 m	1,0 s	28 m	5,6 s	108 m	210 m
70 km/u	50 km/u	2,5 s	49 m	1,0 s	22 m	2,8 s	46 m	120 m

Horizontale bogen met een ontwerpsnelheid die lager is dan de ontwerpsnelheid van het voorgaande wegvak, moeten bovendien worden geaccentueerd om een betere boogherkenning te krijgen. Herkenning van bogen is te verbeteren door:

- het verduidelijken van het wegverloop door het aanbrengen van verticale elementen of achtergrondinformatie;
- het toepassen van een grotere verkanting dan voertuigdynamisch gezien noodzakelijk is;
- het aanbrengen van een andere opvallend element in het wegbeeld (bijvoorbeeld een korte verkantingsovergang bij het ingaan van een krappe boog), waardoor de bestuurder indringend met de horizontale boog geconfronteerd wordt, en zodoende zijn snelheid zal aanpassen;
- het aanbrengen van bebakening voorzien van reflectoren;
- het toepassen van verticale elementen zoals bomen of verlichtingmasten aan de buitenkant van de boog in de berm.

zicht in de boog

Zicht in de horizontale boog is noodzakelijk voor het juist inschatten van het verloop van de boog. Hierbij is het zicht op het verloop van de kantstreep van de buitenboog bepalend. Bij kans op 'wegduiken' van de kantstreep in verkantingsovergangen verdient het aanbeveling de kantstreep van de binnenboog als wentelingsas voor de verkantingsovergang te kiezen. Een wentelingsas meer naar het midden van de rijbaan kan ervoor zorgen dat de kantstreep van de binnenboog plaatselijk niet zichtbaar is (zie ook paragraaf 5.5.3). Dit is niet acceptabel.

Naast zichtproblemen als gevolg van het alignement kunnen er ook zichtproblemen ontstaan als gevolg van zichtbelemmerende elementen naast de rijbaan. Voor zichtbelemmerende elementen geldt een minimale afstand tussen binnenkant kantstreep en het element. Deze afstand dient voor het verkrijgen van voldoende zichtlengte in de boog en is gerelateerd aan de boogstraal. De minimale boogstraal behorende bij de afstand tussen binnenkant kantstreep en het zichtbelemmerende element wordt bepaald met onderstaande formule.

$$\text{Minimale boogstraal} = \frac{(L_z)^2}{2 * (\sqrt{d_z + d_w} + \sqrt{d_z + d_c})^2}$$

Hierin is:

- L_z : zichtlengte (m), zie paragraaf 5.1.3;
- d_z : afstand tussen binnenkant kantstreep en zichtbelemmerend object (m);
- d_w : afstand tussen binnenkant kantstreep en waarneempunt bestuurder (m);
- d_c : afstand tussen binnenkant kantstreep en controleobject (m).

De resultaten van de berekening voor standaardsituaties staan weergegeven in tabel 5.6. In afbeelding 5.5 staat de maatgevende situatie afgebeeld. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

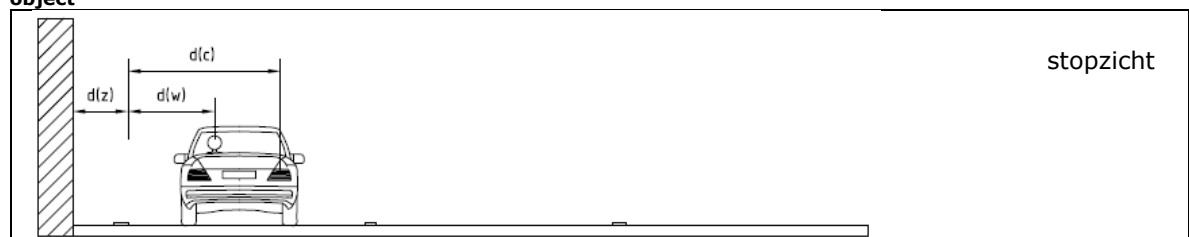
- in standaardsituaties conform tabel 5.6 en afbeelding 5.5 is stopzicht maatgevend boven wegverloopzicht. Anticipatiezicht kan afhankelijk van de situatie grotere boogstralen vereisen. Dit dient per situatie onderzocht te worden;
- de gegeven waarden voor stopzicht gelden bij een helling van 0%. Bij een neergaande langshelling geldt een grotere zichtlengte, en daarmee een grotere minimale boogstraal;
- bij de bepaling van de afstand tussen binnenkant kantstreep en het zichtbelemmerend object (d_z) is de afschermingsvoorziening als maatgevend zichtbeperkend element aangemerkt en is ervan uitgegaan dat de situatie aan de (standaard) middenbermzijde maatgevend is vanwege de smallere berm en het feit dat de bestuurder links in de auto zit. In afwijkende situaties dient een berekening met een andere waarde voor d_z te worden verricht;
- de afstand tussen binnenkant kantstreep en waarneempunt (bestuurder) (d_w) is op basis van een rijstrookbreedte van 3,50 m bepaald. Bij een afwijkende rijstrookbreedte wordt de grootte van d_w in verhouding berekend

tabel 5.6 Minimale horizontale boogstralen bij kans op zichtproblemen

afstand	d_z	d_w	d_c	boogstraal (afgerond)				
				Hoofdbaan	Niet-hoofdbaan o.b.v. ontwerpsnelheid			
				Standaard maat	120 km/u	90 km/u	70 km/u	50 km/u
stopzicht	2,50 m	1,25 m	2,30 m	2.000 m	2.000 m	540 m	190 m	50 m

Wanneer de waarden uit de tabel worden aangehouden bij linksdraaiende bogen, biedt dit een extra zekerheid dat de boog voldoende zichtlengte biedt voor stopzicht. Voor een uitgebreidere beschrijving van het bepalen van horizontale boogstralen bij kans op zichtproblemen wordt verwezen naar het hoofdstuk over tunnels (paragraaf 9.2.3). Het toetsen van horizontale boogstralen op deze manier houdt geen rekening met de hoogte van het zichtbelemmerend object in relatie tot het verticale alignement.

afbeelding 5.5 Schematiseringen voor bepaling stopzicht in horizontale bogen met een zichtbelemmerend object



Om de afstand tussen de binnenkant kantstreep tot het zichtbelemmerend object (d_z) te benaderen op basis van stopzicht kan onderstaande formule gebruikt worden. Deze formule is

niet toepasbaar voor toetsing op anticipatie- en wegverloopzicht. Deze formule heeft een benadering van +/- 10 centimeter.

$$d_z = R_h - \sqrt{R_h^2 - \left(\frac{L_z}{2}\right)^2} - \frac{d_c + d_w}{2} \text{ Hierin is:}$$

- R_h : horizontale boogstraal (m);
- L_z : zichtlengte (m), zie paragraaf 5.1.3;
- d_z : afstand tussen binnenkant kantstreep en zichtbelemmerend object (m);
- d_w : afstand tussen binnenkant kantstreep en waarneempunt bestuurder (m);
- d_c : afstand tussen binnenkant kantstreep en controleobject (m).

zicht op het eind van de boog

In een horizontale boog moet het eind van de boog zichtbaar zijn voor het juist inschatten van de booghoek en het tijdig herkennen van de verkeerssituatie stroomafwaarts. Bij grotere booghoeken wordt de boogstraal te ruim ingeschat, waardoor de kans bestaat dat de boog met een te hoge snelheid wordt bereden. Daarnaast moet een bestuurder voldoende zicht hebben om te kunnen reageren op situaties die zich stroomafwaarts voordoen, zoals gelijkvloerse kruisingen en eventuele wachtrijen aldaar.

Het zicht op het einde van een horizontale boog is te verbeteren door:

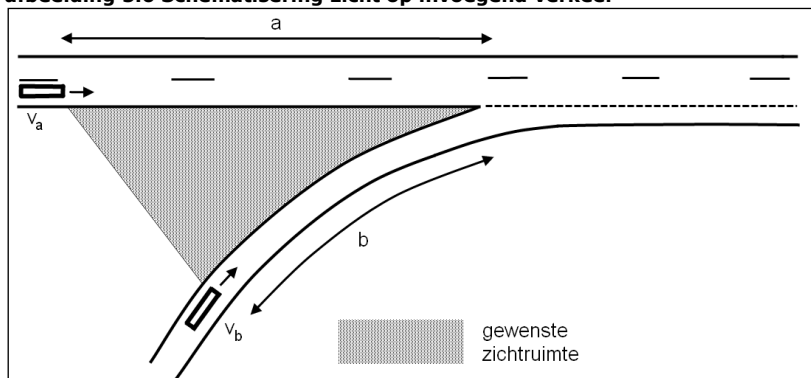
- lussen en krappe horizontale bogen in toe- en afritten aan de binnenzijde open te houden door beplanting, afschermingsvoorzieningen of andere zichtbelemmerende objecten zoveel mogelijk te vermijden;
- het weghalen of afschermen van eventuele misleidende elementen (voorkeursmateriaal bij afscherming: groenblijvende beplanting).

5.1.5

Zicht op invoegend of wevend verkeer

De zichtlengte op invoegend of wevend verkeer is de afstand waarover een bestuurder de weg en de (andere) toeleidende weg moet kunnen overzien om de juiste relatieve positie en snelheid te kiezen om het invoegen of weven vlot te laten verlopen.

afbeelding 5.6 Schematisering zicht op invoegend verkeer



afbeelding 5.6 toont een schematische voorstelling van een invoegsituatie, maar is ook van toepassing op een tapersamenvoeging. In theorie zijn de afstanden a en b op te delen in twee delen waarbinnen de bestuurder de tijd krijgt om de situatie waar te nemen en hier vervolgens op te anticiperen. Het eerste deel dient voor het waarnemen of er voertuigen op de andere rijbaan rijden. Het tweede deel dient om de snelheid van het waargenomen voertuig in te schatten en hierop te anticiperen. Als uitgangspunt wordt gehanteerd dat beide voertuigen A en B aan 3 rijseconden voldoende hebben om waar te nemen en te anticiperen. De 3 rijseconden

worden gebaseerd op de ontwerpsnelheid van de doorgaande rijbaan; de snelheid op de toeleidende rijbaan bedraagt 75% van deze waarde.

In tabel 5.7 staan de maatgevende zichtlengtes ten behoeve van zicht op invoegend of wevend verkeer per ontwerpsnelheid weergegeven. De totale zichtlengte is de afstand stroomopwaarts van de spitse punt van het puntstuk waarbinnen verkeer op de toeleidende rijbanen elkaar moet kunnen zien.

tabel 5.7 Standaardwaarden zichtlengte ten behoeve van zicht op invoegend of wevend verkeer

ontwerpsnelheid		zicht		
doorgaande baan	toeleidende baan	tijd	lengte a (afgerond)	lengte b (afgerond)
120 km/u of hoofdbaan	90 km/u	3,0 s	100 m	75 m
90 km/u	70 km/u	3,0 s	75 m	60 m
70 km/u	50 km/u	3,0 s	60 m	40 m

5.1.6

Zicht op een rijstrookbeëindiging

Een rijstrookbeëindiging is een beëindiging van de linkerrijstrook. Uitgangspunt is dat de bestuurder tijdig anticipeert op de bebording en verdrijfpijlen die de rijstrookbeëindiging aankondigen. Mocht de bestuurder om welke reden dan ook hierop niet (tijdig) anticiperen, moet voorkomen worden dat de daadwerkelijke rijstrookbeëindiging (verdrijfstrepen) onverwacht komt. Daarom moet de bestuurder de aanzet van de verdrijfstrepen zodanig goed kunnen overzien (gegeven het alignement en de inrichting en uitrusting van de weg), dat hij aan het begin van de verdrijfstrepen tot stilstand kan komen op de eindigende rijstrook. Om dit te waarborgen, is een zichtlengte voorgeschreven.

Uitgangspunten bij de bepaling van zichtlengte ten behoeve van zicht op een rijstrookbeëindiging zijn:

- zichtpunt: aanzet van de verdrijfstrepen bestaande uit de eerste 50 m van de afstreping;
- daglicht;
- herkenninglengte: deze lengte dient als zichtbare lengte aanwezig te zijn;
- prt: verlengde prt van 2,0 seconden vanwege het onverwachte karakter van deze discontinuïteit;
- operationele taak: deceleratie tot stilstand voor personenauto (conform berekening stopzicht, zie paragraaf 5.1.3).

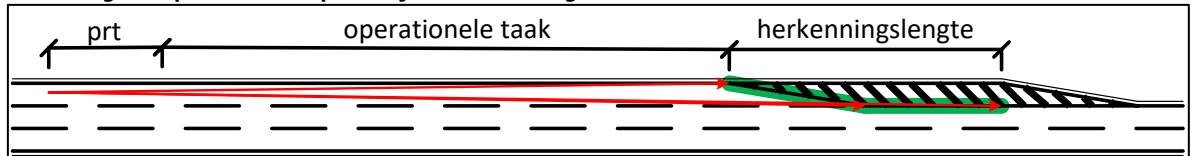
Over de som van deze lengtes dient het zichtpunt continue en volledig zichtbaar te zijn. In tabel 5.8 staan de maatgevende zichtlengtes voor zicht op een rijstrookbeëindiging per ontwerpsnelheid weergegeven.

tabel 5.8 Standaardwaarden voor zicht op een rijstrookbeëindiging

Type rijbaan		herkenninglengte		prt		operationele taak		totale zichtlengte (afgerond)
		tijd	lengte	tijd	lengte	tijd	lengte	
Hoofdbaan	Standaard maat	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	345 m
Niet hoofdbaan o.b.v. ontwerpsnelheid	120 km/u	3,0 s	100 m	2,0 s	67 m	± 11 s	177 m	345 m
	90 km/u	3,0 s	75 m	2,0 s	50 m	± 7 s	84 m	210 m
	70 km/u	3,0 s	58 m	2,0 s	39 m	± 5 s	45 m	145 m
	50 km/u	3,0 s	42 m	2,0 s	28 m	± 2 s	21 m	90 m

De zichtlengte is als volgt opgebouwd. De herkenninglengte betreft het eerste deel van de markering van de rijstrookbeëindiging. Deze dient volledig zichtbaar te zijn. Het eerste deel van de rijstrookbeëindiging maakt dus onderdeel uit van de zichtlengte. Op het moment dat dit deel van de rijstrookbeëindiging zichtbaar is, is er ruimte nodig voor de prt en de operationele taak. Dit is toegelicht in afbeelding 5.7.

afbeelding 5.7 opbouw zicht op een rijstrookbeëindiging



5.2 Horizontaal alignement

Het horizontale alignement is het horizontale verloop van de wegas. Het horizontale alignement is opgebouwd uit de volgende elementen:

- horizontale rechtstand;
- horizontale (cirkel)boog;
- overgangsboog.

5.2.1 Horizontale rechtstand

De horizontale rechtstand is een rechte lijn in het horizontale alignement.

functie

De horizontale rechtstand heeft als functie het verbinden van twee horizontale bogen.

ontwerpparameters

In het alignement worden horizontale rechtstanden hoofdzakelijk toegepast bij knooppunten en aansluitingen, of bij bundeling met andere infrastructuur als spoorwegen of kanalen. In overige wegvakken worden geen horizontale rechtstanden toegepast. Een bestuurder fixeert zijn blik bij lange rechtstanden namelijk eerder op de horizon en is daardoor minder alert op prikkels vanuit het wegbeeld rondom hem ('polderblindheid'). Bovendien is er bij een horizontale rechtstand in combinatie met een verticale rechtstand zonder helling slecht zicht op het verkeer stroomafwaarts. Lange rechtstanden worden daarom vervangen door ruime bogen met boogstralen groter of gelijk aan 40.000 m.

Waar rechtstanden worden toegepast, moet worden gestreefd naar een beperkte lengte hiervan. Hierbij kan als richtlijn een lengte in meters van 20x de ontwerpsnelheid in km/u aangehouden worden. Aan de andere kant mag de horizontale rechtstand ook niet te kort zijn, opdat deze wordt herkend als zelfstandig element en opdat er geen fouten (knikken) in het wegbeeld ontstaan. Hierbij kan als richtlijn een minimale lengte van 4x de ontwerpsnelheid in km/u tussen gelijkgerichte bogen en 2x de ontwerpsnelheid in km/u tussen tegengesteld gerichte bogen aangehouden worden. Zie ook paragraaf 5.6.

tabel 5.9 Minimale en maximale lengte horizontale rechtstand

Type rijbaan		minimale lengte		maximale lengte
		tussen gelijkgerichte bogen	tussen tegengesteld gerichte bogen	
Hoofdbaan	Maatvoering	480 m	240 m	2.400 m
Niet-hoofdbaan op basis van ontwerp-snelheid	120 km/u	480 m	240 m	2.400 m
	90 km/u	360 m	180 m	1.800 m
	70 km/u	280 m	140 m	1.400 m
	50 km/u	200 m	100 m	1.000 m

5.2.2

Horizontale boog

De horizontale boog is een cirkelboog met een bepaalde straal in het horizontale alignement.

functies

De horizontale boog heeft meerdere functies:

- faciliteren van een verandering in horizontale richting;
- verbinden van wegen met verschillende richtingen;
- bieden van een afwisselend wegbeeld ter verhoging van de concentratie op de rijtaak;
- bieden van verbeterd zicht op het verkeer stroomafwaarts.

ontwerpparameters

Bij het toepassen van een horizontale boog worden eisen gesteld aan de straal van de boog (de boogstraal) en de lengte van de boog (de booglengte).

Bij de keuze voor een boogstraal moet voldaan worden aan eisen met betrekking tot comfort en zicht. Verder dient er rekening gehouden te worden met boogdetectie, inschatting van bogen en consistentie van het wegbeeld (zie paragraaf 5.1.4). Voor de eisen met betrekking tot boogstralen wordt onderscheid gemaakt tussen bogen in hoofdbanen en bogen in niet-hoofdbanen. Een en ander is in het vervolg van deze subparagraaf verder uiteengezet.

minimale booglengte

Om te zorgen dat de horizontale boog wordt herkend als zelfstandig element, wordt een minimale booglengte voorgeschreven op basis van 3 rijseconden.

tabel 5.10 Minimale booglengte

Type rijbaan		minimale booglengte
Hoofdbaan	Minimale maat	100 m
Niet-hoofdbaan op basis van ontwerpssnelheid	120 km/u	100 m
	90 km/u	75 m
	70 km/u	60 m
	50 km/u	40 m

Bij de keuze van de booglengte moet bovendien voldaan worden aan de eisen met betrekking tot wegbeeld (zie paragraaf 5.6).

minimale boogstralen hoofdbanen

Voor horizontale bogen in hoofdbanen gelden de minimale boogstralen zoals weergegeven in tabel 5.11 ten behoeve van wegbeeld en comfort. De horizontale boogstraal op hoofdbanen wordt gemeten in de wegas. In principe ligt de wegas op binnenkant linker kantstreep, maar het staat de ontwerper vrij om een gepaste afwijkende ligging te kiezen.

Voor gebogen tracégedeelten wordt onderscheid gemaakt in bogen met en zonder verkanting. In hoofdbanen is de verkanting van een boog gelijk aan het benodigde afschot, waarbij het water afstroomt van de buitenzijde naar de binnenzijde van de boog. Deze verkanting bedraagt 2,5 %. De richtlijnen voor verkanting en afschot zijn beschreven in paragraaf 5.5.

tabel 5.11 Minimale horizontale boogstraal in hoofdbanen

situatie	minimale horizontale boogstraal hoofdbaan	
	Autosnelweg	Stadsautosnelweg
rechte tracégedeelten toe te passen ter vervanging van rechtstanden	40.000 m	40.000 m
gebogen tracégedeelten tegenverkanting afschot / verkanting (2,5 %)	4.000 m 1.500 m	2.000 m 700 m
- bij knooppunten en aansluitingen - toe te passen ter vervanging van rechtstanden - ter voorkoming parallax bij waarneming informatie boven rijbaan* - discontinuïteiten in linksdraaiende boog ten behoeve van overzichtelijkheid, spiegelgebruik** en ter voorkoming misleiding - discontinuïteiten in rechtsdraaiende boog ten behoeve van overzichtelijkheid, spiegelgebruik** en ter voorkoming misleiding	40.000 m 3.000 m 4.000 m 3.000 m	40.000 m 3.000 m 4.000 m 3.000 m

* Voor een beschrijving van parallax wordt verwezen naar paragraaf 5.6.3.

** zicht op achteropkomend verkeer, vinden van hiaten, inschatting maken van snelheidsverschillen voor rijstrookwisselingen, e.d.

Met name voor bogen met een kleine hoekverdraaiing is het van belang te toetsen op de minimale booglengte (tabel 5.10) en het voorkomen van een horizontale knik (paragraaf 5.6.3).

standaard boogstralen niet-hoofdbanen

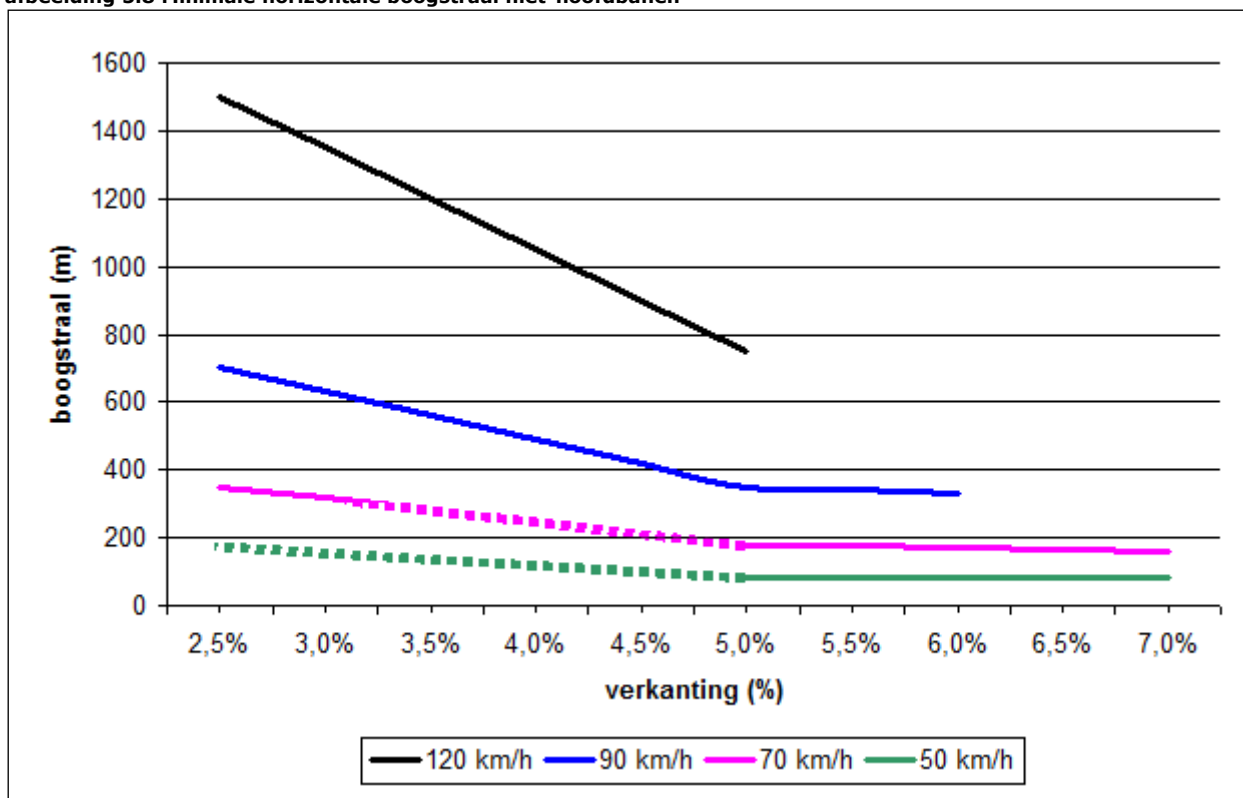
Voor gebogen tracégedeelten op niet-hoofdbanen gelden de boogstralen die grafisch zijn weergegeven in afbeelding 5.8. In tabel 5.12 is een vertaling gegeven naar waarden. De toe te passen boogstralen met een grotere verkanting dan 2,5 % komen voort uit het (verkeersveiligheids)uitgangspunt dat in de horizontale boog de centrifugaalkracht wordt opgenomen door 10 à 15 % van de zijdelingse wrijvingsweerstand. Bij standaard verkanting wordt gerekend met 10 % van de zijdelingse wrijvingsweerstand. De horizontale boogstraal op niet-hoofdbanen wordt gemeten in de binnenkant van de linker kantstreep.

De ervaring heeft geleerd dat boogstralen kleiner dan 300 m onvoldoende vergevingsgezindheid hebben om de gevolgen van een foutieve inschatting door de weggebruiker te beperken, hetgeen een goede accentuering noodzakelijk maakt. Als randvoorwaarde geldt daarom dat bogen met een straal kleiner dan 300 m worden voorzien van een minimale verkanting van 5,0

%. Hierdoor wordt de herkenbaarheid van de boog voor weggebruiker bevorderd. Boogstralen in het tussengebied ($R < 300$ m, verkanting $< 5,0$ %) worden niet toegepast. Dus een straal van bijvoorbeeld 225 meter heeft minimaal 5% verkanting.

Bij toepassing van krappere bogen dan de standaard boogstralen als genoemd in tabel 5.11 gaat ook aandacht uit naar zicht op en in de boog. Tezamen met andere wegbeeldeisen staat dit beschreven in paragraaf 5.6.

afbeelding 5.8 Minimale horizontale boogstraal niet-hoofdbanen



tabel 5.12 Minimale horizontale boogstraal niet-hoofdbanen in relatie tot de verkanting

situatie	minimale boogstraal per ontwerpsnelheid voor niet-hoofdbanen			
	120 km/u*	90 km/u	70 km/u	50 km/u
tegenverkanting	4.000 m	n.v.t**	n.v.t**	n.v.t**
2,5 % verkanting	1.500 m	700 m	350 m	n.v.t***
3,0 % verkanting	1.350 m	630 m	315 m	n.v.t***
3,5 % verkanting	1.200 m	560 m	n.v.t***	n.v.t***
4,0 % verkanting	1.050 m	490 m	n.v.t***	n.v.t***
4,5 % verkanting	900 m	420 m	n.v.t***	n.v.t***
5,0 % verkanting	750 m	350 m	180 m	85 m
5,5 % verkanting		340 m	175 m	85 m
6,0 % verkanting		330 m	170 m	85 m
6,5 % verkanting			165 m	80 m
7,0 % verkanting			160 m	80 m

* Ontwerpsnelheid 120 km/u alleen van toepassing op parallelbanen met groot aandeel lange-afstandsverkeer die daardoor een belangrijke rol in het netwerk vervullen.

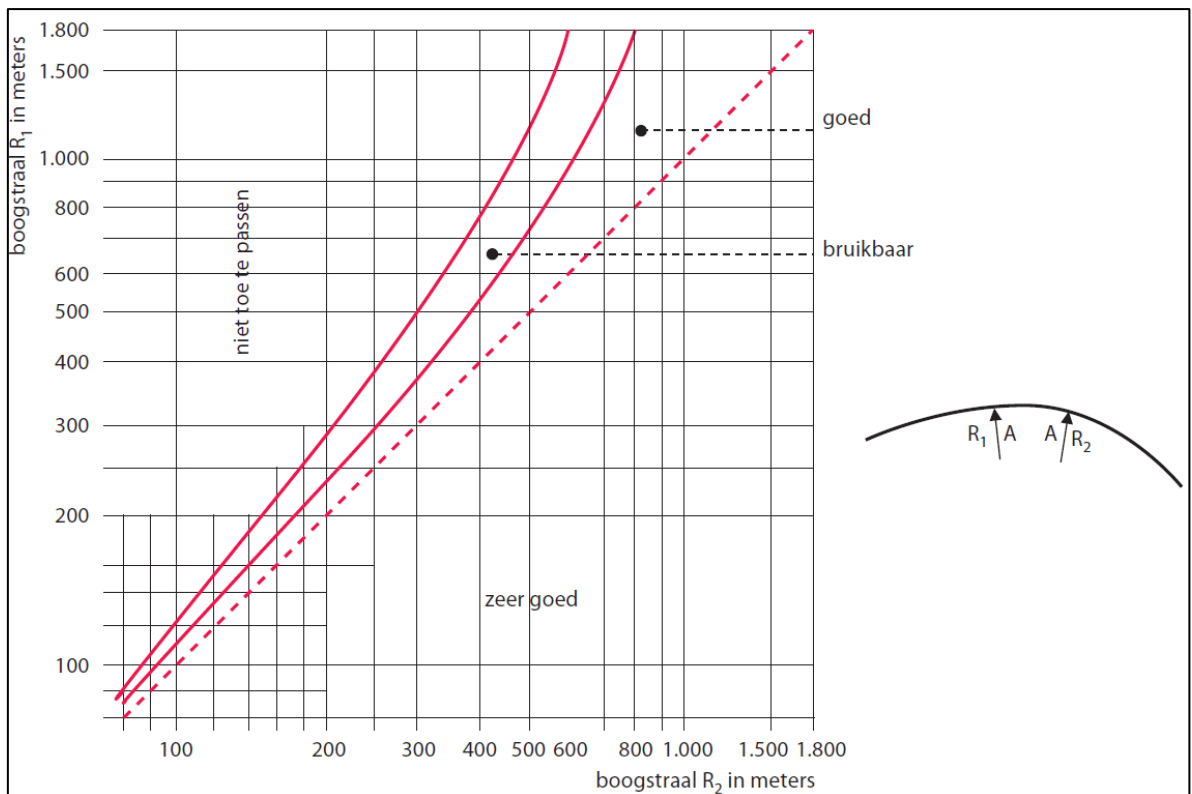
** Voor bogen met een ontwerpsnelheid 90 km/u, 70 km/u en 50 km/u wordt geen tegenverkanting toegepast.

*** Voor bogen met een straal kleiner dan 300 m geldt een minimale verkanting van 5,0%. Dus een straal van bijvoorbeeld 225 meter heeft minimaal 5% verkanting.

samengestelde gelijkgerichte bogen

Bij onevenwichtige verhoudingen tussen opeenvolgende afnemende gelijkgerichte boogstralen, neemt de onveiligheid aanzienlijk toe, omdat de overgang tussen de bogen voor bestuurders dan zeer moeilijk te detecteren is. Om dit te voorkomen, worden de boogstralen van opeenvolgende gelijkgerichte horizontale bogen op elkaar afgestemd zoals weergegeven in afbeelding 5.9.

afbeelding 5.9 Toelaatbare stralen bij opeenvolgende gelijkgerichte horizontale bogen in niet-hoofdbanen met afnemende stralen*



* Rijrichting van R_1 naar R_2 . Toenemende stralen leveren geen problemen op

Niet alleen de straal van de horizontale boog, maar ook de hoekverdraaiing (en dus de lengte van de horizontale boog als resultante) is hierbij van belang. Bij een geringe hoekverdraaiing in de eerste horizontale boog is er namelijk nog geen sprake van een introductie van het bogenstelsel.

stappentheorie

Bij opeenvolgende horizontale bogen met afnemende boogstralen in afritten gaat extra aandacht uit naar de samenhang van de opeenvolgende bogen. De benodigde deceleratie dient op een verkeersveilige manier te worden afgedwongen, door een duidelijk wegbeeld waarin misleiding wordt voorkomen. Hiertoe dient in het ontwerp rekening gehouden te worden met de stappentheorie.

De stappentheorie houdt in dat de ontwerpsnelheid van opeenvolgende ontwerpelementen in afritten stapsgewijs afneemt. Dit is nodig om de snelheidsvermindering geleidelijk en daarmee beheerst te laten verlopen, waarmee samenhang in het wegontwerp wordt verkregen. De stappentheorie is aanvullend aan de eisen in afbeelding 5.9 met betrekking tot toelaatbare stralen.

De stappentheorie is voornamelijk van toepassing op afritten in aansluitingen die zijn voorzien van een S-boog. Daarnaast gaat er vanuit de stappentheorie ook aandacht uit naar lusvormige afritten (richtingsverandering circa 180°). De stappentheorie is niet van toepassing op Haarlemmermeer-afritten, tenzij hier een duidelijke S-boog in aanwezig is.⁹ De stappentheorie is ook niet van toepassing op verbindingswegen tussen autosnelwegen. In tegenstelling tot verkeer op afritten, heeft verkeer op verbindingswegen namelijk niet tot doel om te decelereren. De verwachting van de weggebruiker is daarom ook anders dan bij afritten. Om aan te sluiten bij de verwachting van de weggebruikers, heeft de eerste boog van de verbindingsweg de krapste boogstraal. Hiermee wordt voorkomen dat de weggebruiker tussen opeenvolgende bogen verder moet decelereren, en hierbij als gevolg van zijn verwachtingspatroon uit de bocht vliegt.

De standaard ontwerpcomponenten voor het zetten van een stap zijn horizontale bogen en uitvoeringen. Bij een uitvoering geldt de uitrijstrook deceleratie naar de eerste stap, zodat na het puntstuk een ontwerpsnelheid van 90 km/u gehanteerd kan worden voor de eerste horizontale boog. Bij eventueel volgende horizontale bogen wordt de ontwerpsnelheid verder stapsgewijs afgebouwd naar 70 km/u en vervolgens 50 km/u. De hierbij horende boogstralen zijn benoemd in afbeelding 5.8 en tabel 5.12.

Indien de overgang één stap betreft, kan de overgang naar een andere ontwerpsnelheid zonder extra voorzieningen plaatsvinden, afgezien van een eventueel benodigde overgangsboog. De weggebruiker wordt dan 'vanzelf' tot een geleidelijk lagere snelheid gestimuleerd. Voorwaarde is dat de stap goed herkenbaar is: een boog met een kleine booglengte/hoekverdraaiing wordt niet herkend als een stap en zal daarom de volgende boog onvoldoende introduceren (zie paragraaf 5.2.2, minimale booglengte).

In voornoemde standaardsituaties volgen de bogen elkaar op, totdat de gewenste ontwerpsnelheid van de afrit is bereikt. Er is dan vrijheid van situering van de eerste horizontale boog; deze vereist immers geen grote deceleratie. Daarentegen is de situering van de vervolgbogen een punt van extra aandacht. Mogelijke knelpunten zijn:

- een te hoge aanvangssnelheid bij de opvolgende horizontale boog door een grote afstand met een te royaal alignement tussen de beide horizontale bogen;
- een te allen tijde te voorkomen nabochteffect, veroorzaakt door twee gelijkgerichte horizontale bogen die direct op elkaar aansluiten, waarbij de straal van de eerste horizontale boog groter is dan de straal van de tweede horizontale boog (zie afbeelding 5.9);
- slecht zicht op de opvolgende horizontale boog door het horizontale en/of verticale alignement.

Uit onderzoek¹⁰ is gebleken dat voor S-bogen de optimale stapgrootte vanuit verkeersveiligheid tussen 20 km/u en 30 km/u ligt. Dit sluit aan bij de stapgrootte in de verdeling van ontwerpsnelheden. Een kleinere of grotere stapgrootte leidt tot een significant hoger

⁹ Het realiseren van een dergelijke S-boog is ook niet nodig vanuit verkeersveiligheid.

¹⁰ 'The Step Theory - a valid vision on traffic safety or just a myth?', Kroon, november 2012.

ongevalsrisico, vanwege onderschatting door onvoldoende introductie respectievelijk een onjuiste verwachting. Bij lusvormige afritten is het hogere ongevalsrisico alleen geconstateerd bij een grotere stapgrootte, hetgeen verklaarbaar is doordat deze afritten vanwege de vorm geen introductie behoeven. Zeer krappe lussen die volgen op een rechtstand zijn daarmee inherent onveilig.

Het kan voorkomen dat een stapsgewijze afname van de ontwerpsnelheid niet mogelijk is. Er is dan sprake van één of meer horizontale bogen, waarbij de eerste horizontale boog noodzakelijk de meest kritische straal heeft. Deze straal kan een veel lagere ontwerpsnelheid hebben dan het voorafgaande wegvak, waarmee dan een of twee stappen wordt overgeslagen. De volgende situaties zijn hierbij te onderscheiden:

- deceleratie van 120 km/u naar 70 km/u;
- deceleratie van 120 km/u naar 50 km/u;
- deceleratie van 90 km/u naar 50 km/u.

De geleidelijke snelheidsafname vindt in deze afwijkende situaties plaats vóór de eerste horizontale boog, wat eisen stelt aan de benodigde deceleratielengte (zie paragraaf 6.1.2). De eerste horizontale boog dient daartoe zichtbaar en herkenbaar gesitueerd te zijn in het totale ontwerp. Dat kan door:

- een goed herkenbare situering van de horizontale boog in het wegbeeld, door toepassing van een verkanting van minimaal 5% en toepassing van een minimale clothoïdeparameter;
- extra aandacht voor bebakening, verlichting, achtergrond (berminrichting) en landschappelijke inpassing.

Deze maatregelen compenseren de verminderde verkeersveiligheid van de boog, echter dit is geen volledige compensatie voor het overslaan van een stap. De verkeersveiligheid van de boog is lager met een verhoogd ongevalsrisico, hetgeen ook naar voren komt uit genoemd onderzoek.

5.2.3 *Overgangsboog*

De overgangsboog is een geleidelijke overgang tussen een horizontale rechtstand en een horizontale boog of tussen twee horizontale bogen.

functies

Een overgangsboog heeft de volgende functies:

- mogelijkheid bieden voor geleidelijke stuurverdraaiing;
- vloeiend verbinden horizontale bogen met horizontale rechtstanden en/of horizontale bogen;
- beheersbaar houden zijdelingse voertuigkrachten;
- vloeiende vormgeving van het autosnelwegontwerp in bogen, zodat bestuurders de situatie beter kunnen inschatten en zodat knikken in het wegbeeld voorkomen worden;
- plaats bieden aan de verkantingsovergang;
- geleidelijk aanbrengen van de benodigde bochtverbreding.

ontwerpparameters

Als overgangsboog wordt de clothoïde toegepast. Deze kromme is de baan die wordt doorlopen indien de snelheid van het voertuig en de snelheid waarmee het stuur wordt gedraaid, constant zijn. Hiermee ontstaat een vloeiende overgang tussen twee ontwerpelementen. De clothoïde wordt gekenmerkt door de clothoïdeparameter A .

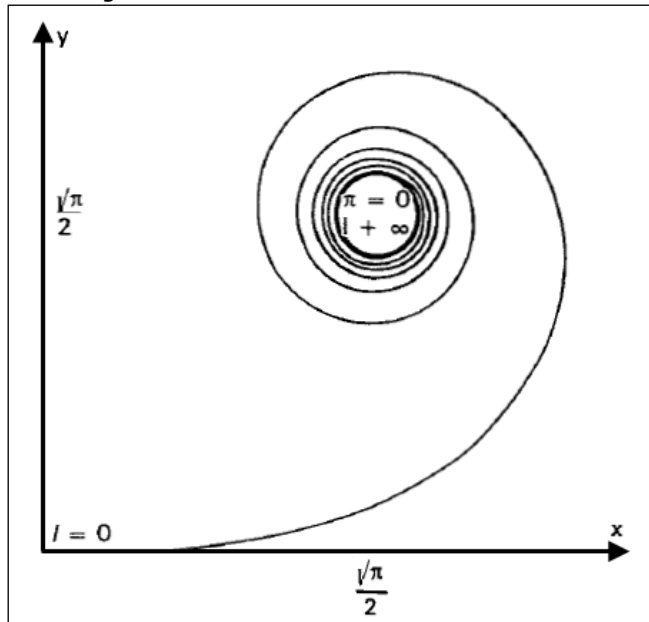
De clothoïde is een spiraal waarvan de boogstraal R omgekeerd evenredig is met de lengte gerekend vanaf het nulpunt (waar geldt dat $R = \infty$). Dit wordt weergegeven door de volgende formule:

$$A^2 = R_x \cdot L_x$$

Hierin is:

- A : clothoïdeparameter;
- R_x : straal van clothoïde op punt x (m);
- L_x : lengte clothoïde tussen punt x en nulpunt ($R = \text{oneindig}$) (m).

afbeelding 5.10 Standaard clothoïde



toepassing

Een overgangsboog wordt toegepast in de volgende gevallen:

- tussen een rechtstand en een cirkelboog:
 - toepassen als de horizontale boogstraal (R) kleiner is dan de waarden genoemd in tabel 5.13 (zie afbeelding 5.11 A);
- tussen twee gelijkgerichte bogen (met stralen R_1 en R_2):
 - voor de keuze van parameter A is de kleinste aangrenzende boogstraal (R_1) maatgevend boven de straal van de grotere boog (R_2). De overgangsboog verloopt dan van R_1 naar R_2 , waarmee het gedeelte van R_2 tot $R = \infty$ komt te vervallen (zie afbeelding 5.11 B en C). Aaneensluiting van overgangsbogen waarbij de lengte van de cirkelbogen tot nul gereduceerd wordt, dient te worden vermeden in verband met knikken in het wegbeeld. In geval dat een cirkelboog is gelegen tussen twee overgangsbogen, dient in ieder geval de minimale booglengte gehanteerd te worden (zie tabel 5.10 en afbeelding 5.11 D);
- tussen twee tegengesteld gerichte cirkelbogen (met stralen R_1 en R_2):
 - hierbij is in het punt van de overgang van de ene naar de andere overgangsboog geen kromming aanwezig en zijn, afhankelijk van de aansluitende boogstralen, zodoende twee tegengesteld gerichte overgangsbogen vereist (zie afbeelding 5.11 E). In deze situatie kunnen zodoende dezelfde stappen worden gevolgd als bij een overgangsboog tussen een rechtstand en een cirkelboog.

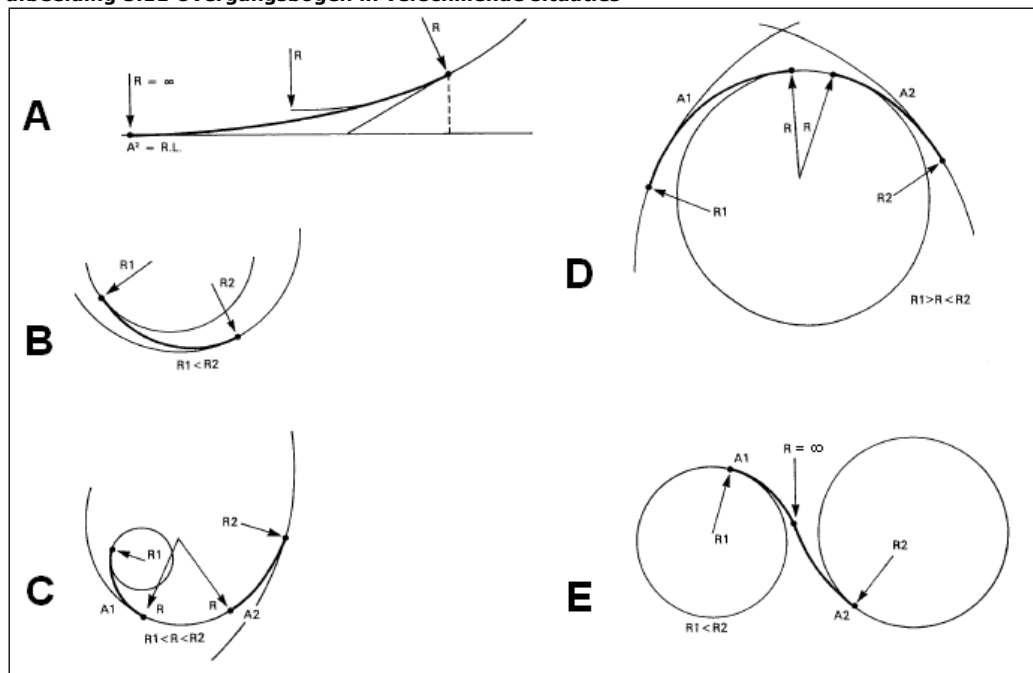
Een overgangsboog wordt niet toegepast, indien:

- een rechtstand aansluit op een cirkelboog met een boogstraal boven de waarden van tabel 5.13 ligt;

- beide aansluitende horizontale bogen een boogstraal hebben, die boven de waarden van tabel 5.13 ligt.

tabel 5.13 Bovengrenzen toepassing overgangsboog

Type rijbaan		overgangsboog noodzakelijk indien
Hoofdbaan	Bovengrens	$R_{1,2} < 4.000 \text{ m}$
Niet-hoofdbaan op basis van ontwerpssnelheid	120 km/u	$R_{1,2} < 4.000 \text{ m}$
	90 km/u	$R_{1,2} < 2.000 \text{ m}$
	70 km/u	$R_{1,2} < 800 \text{ m}$
	50 km/u	$R_{1,2} < 300 \text{ m}$

afbeelding 5.11 Overgangsbogen in verschillende situaties


ontwerpeisen

Aan de clothoïdeparameter A worden de volgende eisen gesteld:

- 1 eisen vanuit zicht;
- 2 eisen vanuit comfort;
- 3 eisen vanuit wegbeeld;
- 4 eisen vanuit dynamica.

De waarden die volgen uit deze eisen staan samengevat in tabel 5.14. Voor de minimale waarde voor A uit tabel 5.14 geldt dat de hoogste waarde maatgevend is.

tabel 5.14 Onder en bovengrenzen clothoïdeparameter A

Type rijbaan		ondergrens clothoïdeparameter A		bovengrens
		zichtbaarheid	comfort	
Hoofdbaan	Maatvoering	1/3 R ₁	n.v.t.	R ₁
Niet-hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	1/3 R ₁	270	R ₁
	90 km/u	1/3 R ₁	175	
	70 km/u	1/3 R ₁	95	
	50 km/u	1/3 R ₁	60	

ad 1) De clothoïdeparameter A wordt in beginsel zo klein mogelijk gekozen vanwege de boogherkenning. Daarbij worden de volgende grenswaarden aangehouden:

- waar zicht op de boog nodig is in verband met snelheidsaanpassing, moet een deel van de cirkelboog binnen het functionele gezichtsveld liggen ($A \leq R$);
- de overgangsboog moet de richtingsverandering duidelijk inleiden. Hiervoor is een hoekverdraaiing van minimaal 3,5° gewenst ($A \geq 1/3 R$).

ad 2) De toename van de zijdelingse krachten bij het doorrijden van de overgangsboog dient beperkt te worden. Hieruit vloeit een minimale waarde voor clothoïdeparameter A voort. Zie tabel 5.15.

tabel 5.15 C_{toelaatbaar}

$$A_{\min} = 0,146 \sqrt{\frac{v_0^3}{C_{\text{toelaatbaar}}}}$$

ontwerpsnelheid	C _{toelaatbaar}	A _{min, comfort}
120 km/u	0,5 m/s ³	270
90 k/mh	0,5 m/s ³	175
70 km/u	0,8 m/s ³	95
50 km/u	0,8 m/s ³	60

Hierin is:

- v_0 : ontwerpsnelheid (km/u);
- $C_{\text{toelaatbaar}}$: factor voor de toelaatbare verandering van de versnelling in zijdelingse richting (m/s³).

ad 3) Het toepassen van de clothoïdeformule $A^2 = R_x \cdot L_x$ levert een vloeiende vormgeving op die niet misleidend of hinderlijk is. Vanuit wegbeeld ontstaan zodoende geen aanvullende eisen voor de clothoïdeparameter.

Bij een boogstraal met een lagere ontwerpsnelheid dan het voorgaande weggedeelte, wordt de richtingsverandering geaccentueerd middels een zo klein mogelijke clothoïdeparameter ($A = 1/3 R$).

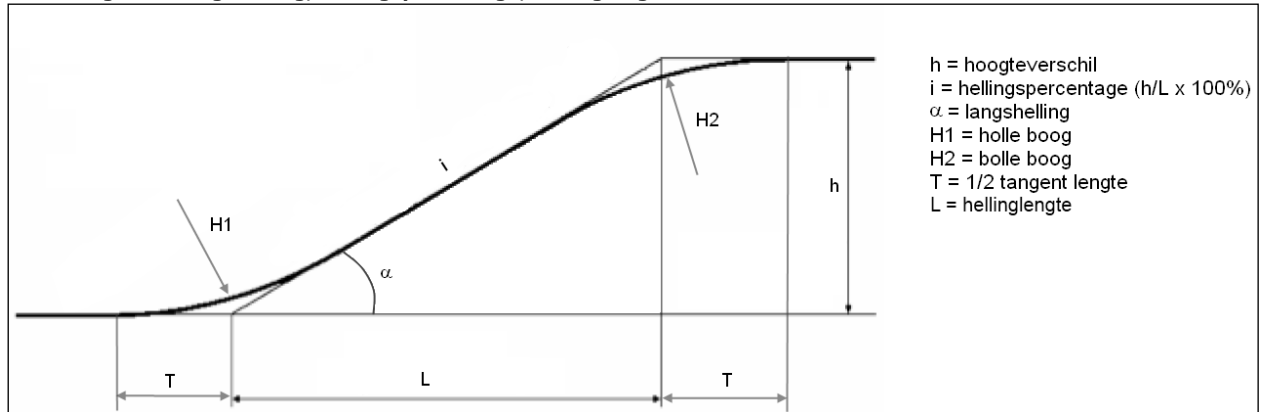
ad 4) Wanneer in elk punt van de verkantingsovergang is voldaan aan de clothoïdeformule $A^2 = R_x \cdot L_x$, levert de zijdelingse wrijvingsweerstand geen problemen op (dynamische evenwichtseis).

5.3

Verticaal alignement

Het verticaal alignement bepaalt de wijze waarop hoogteverschillen worden overwonnen. In het verticale alignement worden verticale rechtstanden en cirkelbogen toegepast. De algemene eigenschappen van de verticale rechtstanden en cirkelbogen zijn weergegeven in afbeelding 5.12.

afbeelding 5.12 Langshelling, hellingspercentage, hellinglengte



5.3.1

Verticale rechtstand

De verticale rechtstand is een rechte lijn in het verticale alignement.

functies

Een verticale rechtstand heeft de volgende functies:

- verbinden van twee verticale bogen;
- overwinnen hoogteverschillen (ondergeschikte functie voor Nederlandse situatie).

ontwerpparameters

De verticale rechtstand wordt gekenmerkt door de volgende ontwerpparameters:

- het hellingspercentage: verhouding tussen het hoogteverschil en de hellinglengte;
- de langshelling: hoek tussen de as van de weg en de horizontaal, uitgedrukt in de tangens van deze hoek;¹¹
- de hellinglengte: horizontale afstand tussen de snijpunten van de raaklijnen aan onder- en bovenafrondingen.

Voor het ontwerp van een verticaal alignement voor een hoofdbaan worden hoogteverschillen bij voorkeur overbrugd door een holle boog direct aan te sluiten op een bolle boog, dus zonder tussenkomst van een verticale rechtstand. Dit bevordert een vloeiend verloop van de weg en vermindert de kans op fouten in het wegbeeld (zie paragraaf 5.6). In deze voorkeursituatie wordt het maximale hellingspercentage met de volgende benaderingsformule berekend:

$$p = \frac{2 * \Delta H}{\sqrt{2 * \Delta H * (R_{v,bolleboog} + R_{v,holleboog})}} * 100\%$$

Hierin is:

- p : maximaal hellingspercentage (%);
- ΔH : te overbruggen hoogteverschil (m);
- R_v : verticale boogstraal (m).

Er zijn echter ook situaties waarbij een verticale rechtstand toegepast moet worden tussen de holle en bolle boog:

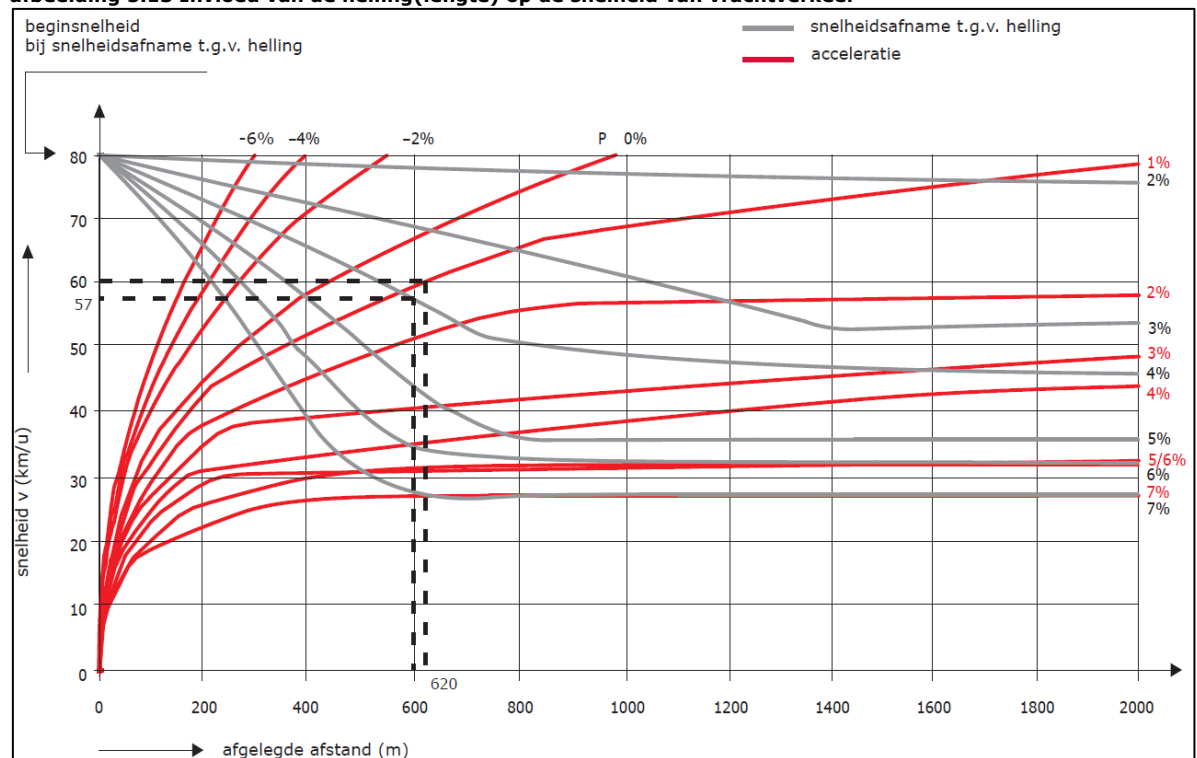
- wanneer een holle en bolle boog samen te weinig hoogteverschil genereren:

¹¹ De 'langshelling' is feitelijk dezelfde grootte als 'hellingspercentage', maar uitgedrukt in een andere eenheid.

- voor hoofdbanen geldt dat verticale rechtstanden pas worden toegepast bij hoogteverschillen van 12 meter of meer, om fouten in het wegbeeld te voorkomen;
- voor niet-hoofdbanen kunnen verticale rechtstanden algemeen worden toegepast. Negatieve gevolgen voor het wegbeeld zijn hier niet te verwachten;
- bij een lange helling.

De combinatie van hellingspercentage en hellinglengte heeft invloed op de snelheid van met name vrachtverkeer. Bij toenemende helling(lengte) bij opgaande helling valt de snelheid van vrachtverkeer terug. Bij toenemende helling(lengte) bij neergaande helling nemen de snelheid en de remweg toe. Dit heeft een negatief effect op de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid. Beide aspecten spelen ook een rol bij in- en uitvoegingen en bij opstelvakken. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 6.1.1 (acceleratielengte).

afbeelding 5.13 Invloed van de helling(lengte) op de snelheid van vrachtverkeer

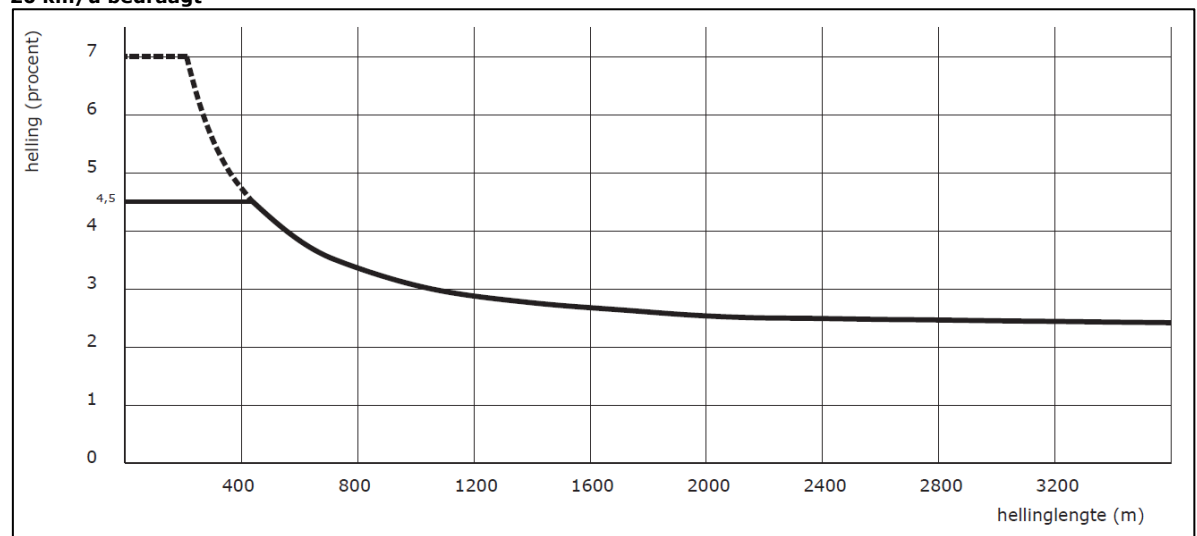


Bij het toepassen van een langshelling geldt dat de snelheidsterugval van vrachtverkeer maximaal 20 km/u mag bedragen. De resulterende snelheidsterugval dient gecontroleerd te worden, bijvoorbeeld met het softwarepakket SimVra+. Wanneer een langshelling (waarbij het effect van de holle en bolle boog is meegenomen) resulteert in een snelheidsterugval van minder dan 20 km/u, dan voldoet de langshelling. Wanneer de helling niet voldoet, dient de helling te worden aangepast of dienen compenserende maatregelen getroffen te worden, bijvoorbeeld het toepassen van een extra (inhaal)strook (zie paragraaf 6.7).

Als richtlijn kunnen de waarden worden aangehouden die zijn weergegeven in tabel 5.16.

tabel 5.16 Richtwaarden verticale rechtstand

Type rijbaan		standaardwaarden		bij grote kunstwerken ¹²	
		maximaal hellingspercentage	maximale lengte	maximaal hellingspercentage	maximale lengte
Hoofdba	Maatvoering	3 %	1300 m	5 %	500 m
Niet hoofdba op basis van ontwerp- snelheid	120 km/u	3 %	1300 m	5 %	500 m
	90 km/u				
	70 km/u	4 %	700 m	6 %	350 m
	50 km/u			7 %	250 m

afbeelding 5.14 Combinaties van hellinglengte en -percentage waarbij de snelheidsreductie voor vrachtverkeer 20 km/u bedraagt

5.3.2 Bolle boog

Een bolle boog is een cirkelvormige bovenafronding in het verticale alignement. Bij hoogteverschillen kleiner dan 12 meter in hoofdbanen wordt de bolle boog zonder tussenkomst van een verticale rechtstand direct op de holle boog aangesloten, tenzij dit leidt tot een te groot hellingspercentage rond het overgangspunt tussen beide bogen.

functies

Een bolle boog heeft de volgende functies:

- overwinnen hoogteverschil;
- faciliteren geleidelijke hellingwijziging verkeer;
- beperken van de verticale versnelling (comfort) van voertuigen.

¹² Bij grote kunstwerken mogen grotere hellingspercentages worden toegepast, om zo op kunstwerk lengte en daarmee kosten te besparen.

ontwerpparameters

Bij bolle bogen is zichtlengte het maatgevende criterium voor de dimensionering. Het vereiste comfort bij het berijden van een bolle boog is in autosnelwegsituaties niet maatgevend.

De boogstraal wordt berekend met de volgende formule:

tabel 5.17 Parameters voor bolle bogen

$$R_{\text{bol,min}} = \frac{L_z^2}{2(\sqrt{h_o} + \sqrt{h_h})^2}$$

ontwerpsnelheid	anticipatiezicht	wegverloopzicht	stopzicht
120 km/u	335 m	165 m	260 m
90 km/u	230 m	120 m	135 m
70 km/u	170 m	80 m	80 m
50 km/u	110 m	40 m	40 m
ooghoogte h_o	1,1 m	1,1 m	1,1 m
objecthoogte h_h	variabel	0 m	0,5 m

Hierin is:

- R : verticale boogstraal (m);
- L_z : maatgevende zichtlengte (m);
- h_o : ooghoogte van de bestuurder;
- h_h : hoogte van het waar te nemen object (m).

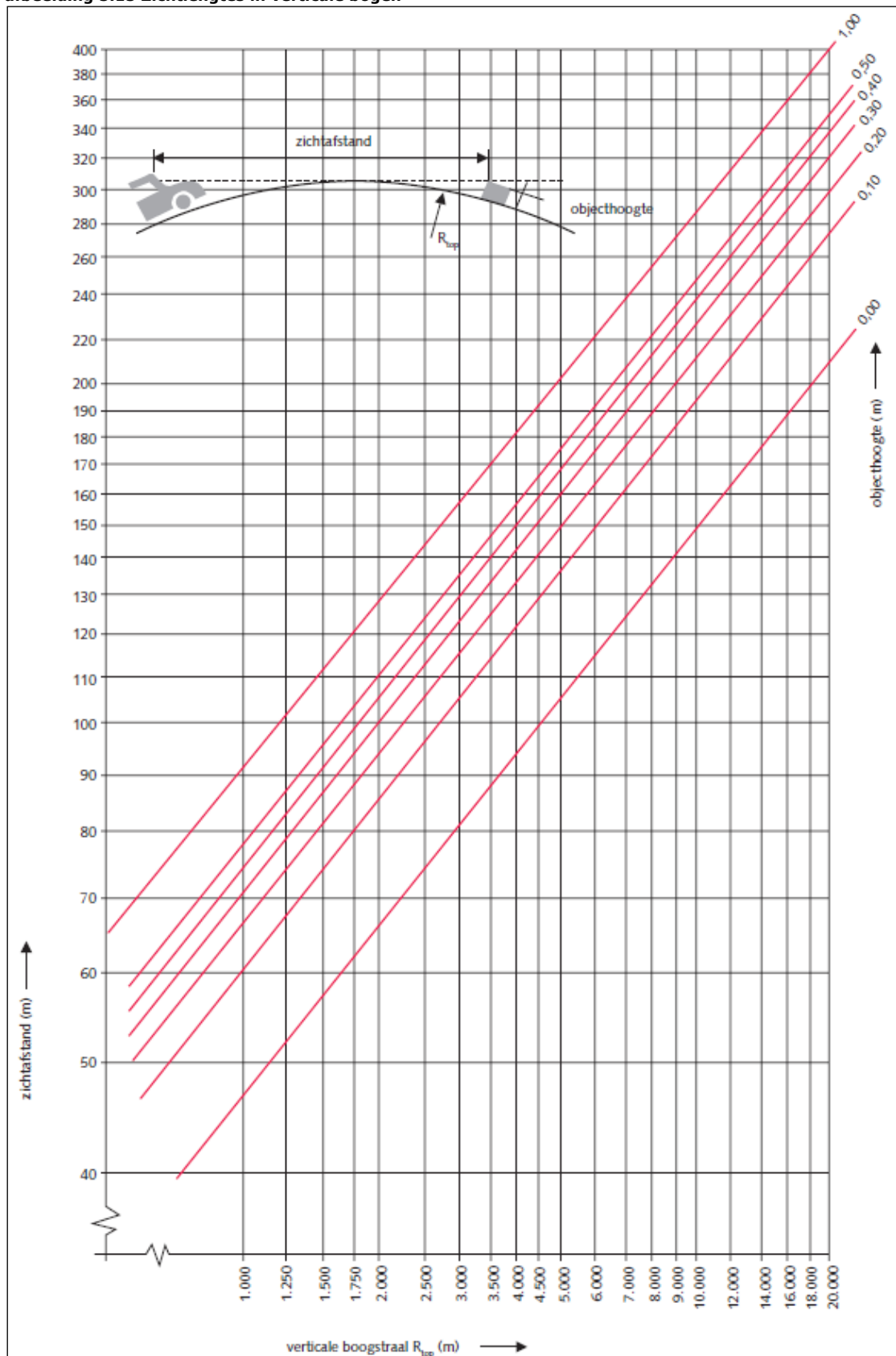
Uit de formule vloeien de minimale boogstralen voor verticale bolle bogen voort, zoals weergegeven in tabel 5.18. De gegeven waarden zijn van toepassing bij wegverloopzicht. Het zichtcriterium wegverloopzicht is echter slechts onder voorwaarde maatgevend: per situatie dient er op basis van de rond de weg aanwezige zichtpunten geanalyseerd te worden of anticipatiezicht niet maatgevend is boven wegverloopzicht. Dit is afhankelijk van de objecthoogte van het voor anticipatiezicht maatgevende zichtpunt (zie paragraaf 5.1.1).

tabel 5.18 Minimale boogstralen bolle boog

Type rijbaan		minimale straal bolle boog	maatgevend zichtcriterium	maatgevende zichtlengte
Hoofdbaan	Minimale maat	12.400 m	wegverloopzicht	165 m
Niet-hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	12.400 m	wegverloopzicht	165 m
	90 km/u	6.600 m	wegverloopzicht	120 m
	70 km/u	3.000 m	wegverloopzicht	80 m
	50 km/u	750 m	wegverloopzicht	40 m

Het kan voorkomen dat bij geringe hoogteverschillen en/of zeer flauwe hellingen de zichtlengte groter is dan de totale lengte van de boog. In dat geval mag een kleinere verticale boogstraal worden toegepast. Bij een dergelijke aaneenschakeling van verticale ontwerpcomponenten wordt de bepaling van de zichtlengte grafisch (met gebruik van software) gedaan, waarna vervolgens de minimale verticale boogstraal van de bolle boog is te bepalen.

afbeelding 5.15 Zichtlengtes in verticale bogen



5.3.3

Holle boog

Een holle boog is een cirkelvormige onderafronding in het verticale alignement. Bij hoogteverschillen kleiner dan 12 meter in hoofdbanen wordt de holle boog zonder tussenkomst van een verticale rechtstand direct op de bolle boog aangesloten, tenzij dit leidt tot een te hoog hellingspercentage rond het overgangspunt tussen beide bogen.

functies

Een holle boog heeft de volgende functies:

- overwinnen hoogteverschil;
- faciliteren geleidelijke hellingwijziging verkeer;
- beperken van de verticale versnelling (comfort) van voertuigen.

standaardwaarden holle boog

Het maatgevende criterium voor de dimensionering van holle bogen is de duidelijkheid van het wegbeeld, zodat de indruk van tegenbogen of knikken vermeden wordt. Hiertoe is het in het algemeen voldoende uit te gaan van een boogstraal van $R_{hol} = 2 * R_{bol}$, zie ook paragraaf 5.6.1. In tabel 5.19 zijn de standaard waarden voor holle bogen afgeleid van de minimale waarden voor bolle bogen. Een analyse op wegbeeld kan grotere waarden opleveren conform tabel 5.44.

tabel 5.19 Standaard waarden holle boog

Type rijbaan		minimale straal holle boog
Hoofdbaan	Minimale maat	24.800 m
Niet-hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	24.800 m
	90 km/u	13.200 m
	70 km/u	6.000 m
	50 km/u	1.500 m

holle boog in onderdoorgangen

In onderdoorgangen en aquaducten waar de wegas zich onder maaiveld bevindt, is wegbeeld niet maatgevend. Dan gelden eisen die zijn gebaseerd op comfort: de toename van de verticale versnelling mag niet meer dan $1,0 \text{ m/s}^2$ bedragen. De minimaal toepasbare boogstralen op basis van comfort zijn weergegeven in tabel 5.20.

tabel 5.20 Minimale waarden holle boog in onderdoorgangen op basis van comfort

Type rijbaan		minimale straal holle boog
Hoofdbaan	Minimale maat	1.200 m
Niet-hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	1.200 m
	90 km/u	700 m
	70 km/u	400 m
	50 km/u	200 m

Aandachtspunt bij het ontwerpen van holle bogen in onderdoorgangen is de zichtbelemmering door het plafond van de onderdoorgang, in combinatie met eventuele objecten als signalering, bewegwijzering en installaties. Het toepassen van een kleine boogstraal voor de holle boog, in combinatie met een lage plafondhoogte, kan leiden tot problemen met betrekking tot wegverloopzicht en stopzicht voor het vrachtverkeer. In dit geval is niet comfort maar zicht

maatgevend. Voor de zichteisen met betrekking tot het verticale alignement in tunnels en onderdoorgangen wordt verwezen naar paragraaf 9.2.4.

5.4 Dwarsprofiel

5.4.1 Algemeen

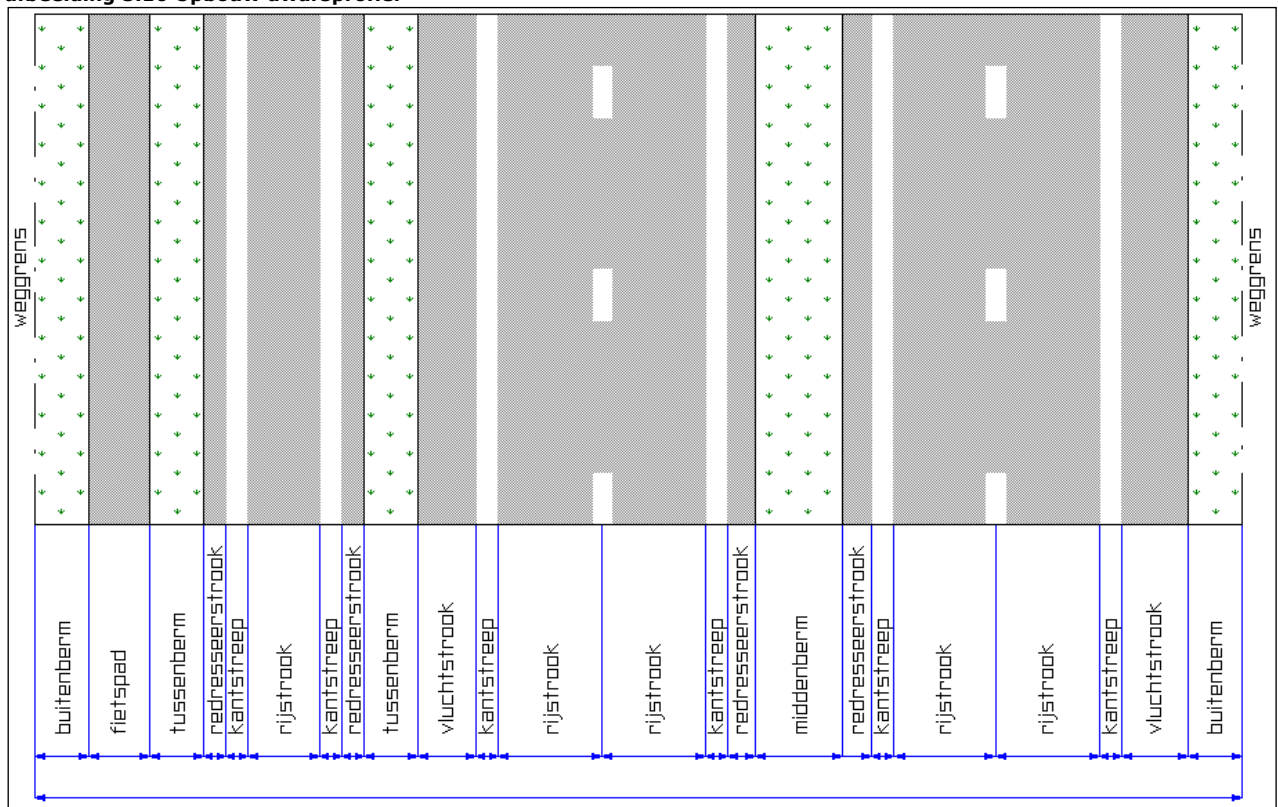
Een dwarsprofiel is de verticale doorsnede loodrecht op de as van de weg. Het dwarsprofiel geeft de inrichting van de weg in dwarsrichting, bestaande uit de afmeting, hoogteligging en dwarsligging van de dwarsprofielonderdelen.

Het dwarsprofiel wordt opgebouwd uit de volgende elementen:

- rijbaan:
 - . rijstrook;
 - . vluchtstrook;
 - . redresseerstrook;
 - . markering;
 - . bochtverbreding;
- berm:
 - . middenberm;
 - . buitenberm;
 - . tussenberm;
- taluds.

De plaats van bovengenoemde begrippen in het dwarsprofiel is weergegeven in afbeelding 5.16.

afbeelding 5.16 Opbouw dwarsprofiel



De maatvoering van de verschillende onderdelen binnen het dwarsprofiel is gebaseerd op de profielen van ruimte van de verschillende ontwerpvoertuigen en de daarbij behorende veiligheidszones. De ontwerper dient altijd na te gaan welk ontwerpvoertuig maatgevend is. De profielen van ruimte strekken zich uit in de breedte en in de hoogte en zijn op te splitsen in:

- profielen van minimumruimte;
- profielen van vrije ruimte.

De veiligheidszone is het gebied langs de rijbaan waarin geen of uitsluitend botsveilige objecten of afgeschermd obstakels voorkomen en dat ruimte biedt aan gestrande voertuigen en voertuigen van hulp- en onderhoudsdiensten. Voor de richtlijnen met betrekking tot de veiligheidszone wordt verwezen naar de richtlijn 'Veilige inrichting van bermen'.

profiel van minimumruimte

Het profiel van minimumruimte in het dwarsprofiel is noodzakelijk voor de bestuurder van een rijdend voertuig voor het uitvoeren van zijn rijtaak. Het profiel van minimumruimte wordt verkregen door de som van:

- de ruimte die het maatgevende ontwerpvoertuig vanwege zijn afmetingen in beslag neemt;
- de ruimte die het maatgevende ontwerpvoertuig nodig heeft voor de horizontale en verticale bewegingen tijdens het rijden.

De horizontale bewegingen van een voertuig staan ook bekend onder de naam vetergang, die veroorzaakt wordt door versturende aspecten als zijwind en koerscorrecties. De vetergang is afhankelijk van de ontwerpsnelheid en de restbreedte die bovenop de voertuigbreedte beschikbaar is:

- bij een hogere ontwerpsnelheid neemt de vetergang toe doordat een stuurafwijking vanwege de hogere snelheid tot een grotere koersafwijking leidt;
- bij afnemende restbreedte neemt de vetergang toe als gevolg van krampachtige stuurbewegingen;
- bij toenemende restbreedte neemt de vetergang toe als gevolg van een lager attentieniveau en door hogere rij snelheden.

Om de vetergang te beperken, dienen brede of smalle restbreedtes vermeden te worden. Daarom zijn standaardafmetingen van de dwarsprofiel elementen voorgeschreven, waarbij de vetergang beperkt blijft.

tabel 5.21 Horizontale minimumruimte

ontwerpsnelheid	ontwerpvoertuig	minimumruimte stilstaande voertuigen (breedte ontwerpvoertuig)	minimumruimte rijdende voertuigen (breedte ontwerpvoertuig + restbreedte)
120 km/u	personenauto	1,83 m	2,83 m
	vrachtauto	2,55 m	3,05 m
90 km/u	personenauto	1,83 m	2,83 m
	vrachtauto	2,55 m	3,05 m
70 km/u	personenauto	1,83 m	2,57 m
	vrachtauto	2,55 m	3,05 m
50 km/u	personenauto	1,83 m	2,07 m
	vrachtauto	2,55 m	2,80 m

De verticale bewegingen van een voertuig worden veroorzaakt door oneffenheden in de verharding in combinatie met het veersysteem van een voertuig. Deze zijn onafhankelijk van de ontwerpsnelheid. De vrachtauto is het maatgevende ontwerpvoertuig.

tabel 5.22 Verticale minimumruimte

ontwerpsnelheid	ontwerpvoertuig	minimumruimte stilstaande voertuigen	minimumruimte rijdende voertuigen
120 km/u	personenauto	4,00 m	4,20 m
	vrachtauto		
90 km/u	personenauto		
	vrachtauto		
70 km/u	personenauto		
	vrachtauto		
50 km/u	personenauto		
	vrachtauto		

profiel van vrije ruimte

Het profiel van vrije ruimte is de ruimte binnen het dwarsprofiel waarbinnen geen obstakels mogen voorkomen. Het is samengesteld uit het horizontale en het verticale profiel van vrije ruimte.

Het horizontale profiel van vrije ruimte wordt verkregen door aan het horizontale profiel van minimumruimte tijdens het rijden de horizontale obstakelafstand toe te voegen.

Het verticale profiel van vrije ruimte wordt verkregen door aan het verticale profiel van minimumruimte de verticale obstakelafstand en een overlagingsmarge toe te voegen.

Een object is een voorwerp dat significant boven het maaiveld uit komt, zoals voertuigkering, obstakels of rijdend / stilstaand voertuig

Een obstakel is een voorwerp, beplantingselement of dwarsprofiелеlement dat bij aanrijding ernstige schade aan het voertuig en/of (dodelijk) letsel aan inzittenden veroorzaakt.

De horizontale objectafstand wordt gemeten als de kortste afstand tussen de binnenkant van de kantstreep en een object. De objectafstand vertaalt de afstand die bestuurders aanhouden tot objecten langs de eigen rijstrook. Houd daarbij voor een geleideconstructie ook rekening met de werkende breedte (zie hiervoor de ROA Veilige Inrichting Bermen), zo mag een uitgebogen geleideconstructie niet in de objectafstand terecht komen.

Het horizontale profiel van vrije ruimte wordt bepaald op basis van de veiligheidsmarge (objectafstand) die bestuurders van voertuigen aanhouden ten opzichte van te passeren objecten. Bij het ontwerp van het dwarsprofiel moet daarom in relatie met de ontwerpsnelheid een vrije ruimte (objectafstand) in acht worden genomen in verband met de gewenste plaats van voertuigen op de weg, om zo een veilige en ongehinderde passeermanoeuvre te faciliteren. Hierbij zijn drie maatgevende situaties denkbaar:

- vrije en ongehinderde verkeersafwikkeling:
 - maatgevend hierbij is de inhaalmanoeuvre waarbij een vrachtwagen wordt ingehaald door een personenauto. De benodigde ruimte bij een inhaalmanoeuvre tussen vrachtauto's is kleiner, omdat een dergelijke inhaalmanoeuvre plaatsvindt bij lagere snelheden, bij kleinere snelheidsverschillen en door meer ervaren chauffeurs. Tussen twee personenauto's is eveneens minder ruimte nodig, vanwege de geringere voertuigbreedtes;
- één of meer voertuigen op de vluchtstrook:
 - een stilstaand voertuig op de vluchtstrook wordt beschouwd als een vast voorwerp (obstakel);
- één of meer voertuigen op de bergingsstrook aan de linkerzijde van de rijbaan:
 - deze situatie komt weinig voor. Hierop wordt dan ook niet gedimensioneerd, ondanks de grote verstoring van de verkeersafwikkeling die afhankelijk van de beschikbare breedte kan optreden.

tabel 5.23 Minimale horizontale objectafstanden

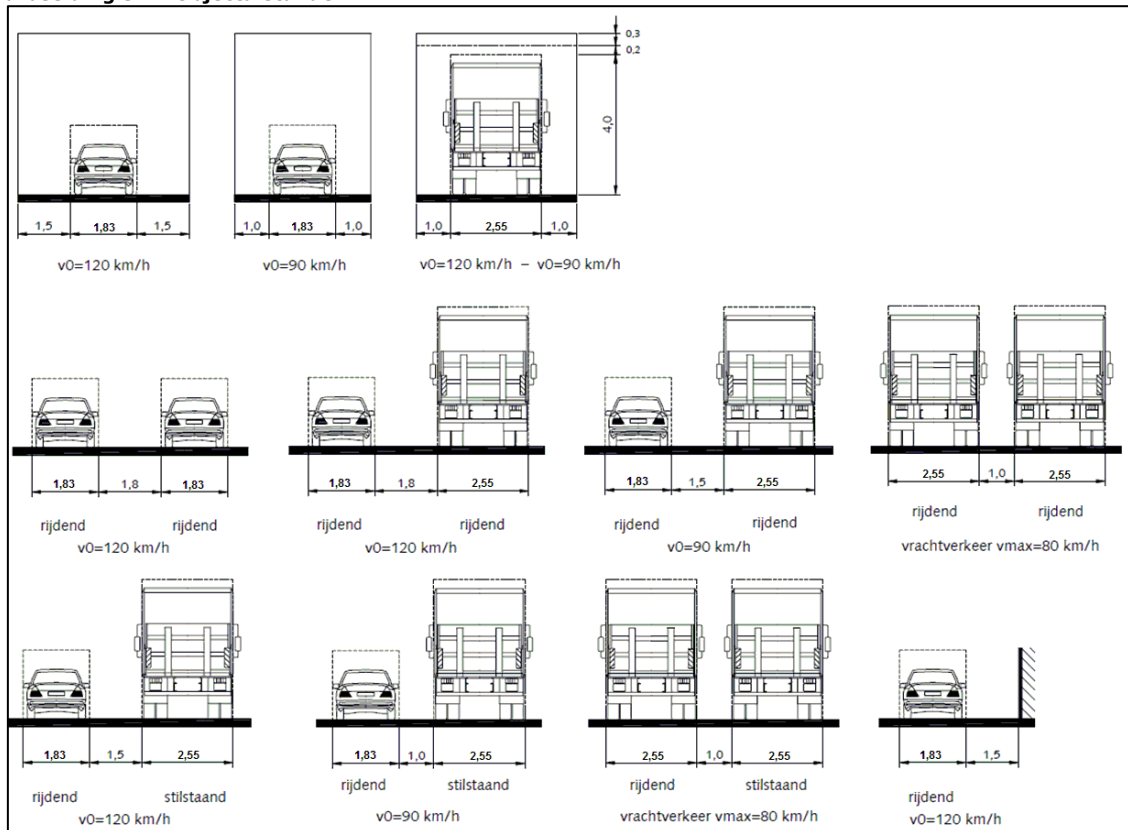
Type rijbaan		ontwerpvoertuig	passeermanoeuvre stilstaande objecten	inhaalmanoeuvre rijdende objecten*
Hoofdbaan	Maatvoering	personenauto	1,50 m	1,80 m
		vrachtauto	1,00 m	1,00 m
Niet- hoofdbaan op basis van ontwerp- snelheid	120 km/u	personenauto	1,50 m	1,80 m
		vrachtauto	1,00 m	1,00 m
	90 km/u	personenauto	1,00 m	1,50 m
		vrachtauto	1,00 m	1,00 m
	70 km/u	personenauto	1,00 m	1,00 m
		vrachtauto	1,00 m	1,00 m
	50 km/u	personenauto	0,50 m	0,50 m
		vrachtauto	0,50 m	0,50 m

* Een rijdend object is een object met vergelijkbare massa en snelheid.

De verticale obstakelafstand is de kortste afstand tussen de bovenkant van het wegdek en een obstakel. Voor wegen met E-nummering is de European Agreement on Main International Traffic Arteries (AGR, 1975) van toepassing. Deze schrijft een verticaal profiel van vrije ruimte voor van 4,50 m. Voor de Nederlandse situatie wordt hier een overlappingsmarge van 0,10 m aan toegevoegd. Het verticale profiel van vrije ruimte bij aanleg bedraagt hiermee 4,60 m, onafhankelijk van de ontwerpsnelheid of type rijbaan. Deze verticale obstakelafstand geldt boven de rijbaan. Boven de berm geldt de verticale obstakelafstand zoals in de ROA Veilige Inrichting Bermen is gedefinieerd. Bij lichte (solitaire) constructies als portalen en voetgangers-/fietsbruggen, moet een vrije doorrijhoogte van minimaal 5,00 m aangehouden worden indien deze niet voldoen aan de aanrijdbelasting conform de ROK; de verticale vrije ruimte bedraagt dan 0,80 m.

tabel 5.24 Verticaal profiel van vrije ruimte

ontwerpvoertuig	minimumruimte stilstaand voertuig	marge voor rijdend voertuig	vrije ruimte	overlagingsmarge	verticaal profiel van vrije ruimte
personenauto	4,00 m	0,20 m	0,30 m	0,10 m	4,60 m
vrachtauto					

afbeelding 5.17 Objectafstanden


5.4.2 Rijbaan

Een rijbaan is een aaneengesloten wegverharding ten behoeve van het dragen van verkeer. Een rijbaan is opgebouwd uit meerdere naast elkaar gelegen en door lengtemarkering gescheiden stroken. De onderscheiden stroken vervullen elk een specifieke functie in het verkeersproces. Deze functie stelt eisen aan de dimensionering van de breedte van een strook.

In de navolgende paragrafen is ingegaan op (de dimensionering van) de stroken waaruit de rijbaan is opgebouwd. Er gelden echter ook eisen aan de breedte van de rijbaan zelf (zie tabel 5.25). Deze robuustheidseisen zijn om te voorkomen dat een stilgevalen voertuig tot een ernstig verlies in capaciteit of netwerkproblemen leidt. Ze zijn opgebouwd uit de bovenbeschreven horizontale minimumruimtes en objectafstanden:

- eenstrooks rijbaan, 50 km/u: objectafstand (0,50 m) + stilstaande vrachtauto (2,60 m) + objectafstand (0,50 m) + passerende vrachtauto (2,60 m) + objectafstand (0,50 m);
- tweestrooks rijbaan, 70-90 km/u: objectafstand (1,00 m) + passerende personenauto (1,77 m) + objectafstand (1,00 m) + stilstaande vrachtauto (2,60 m) + objectafstand (1,00 m) + passerende vrachtauto (2,60 m) + objectafstand (1,00 m).

tabel 5.25 Minimale rijbaanbreedte

Type rijbaan		eenstrooks rijbaan*	meerstrooks rijbaan
Hoofdbaan	Minimale maat	n.v.t.	11,00 m
Niet-hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	6,70 m	11,00 m
	90 km/u		
	70 km/u		
	50 km/u		

* Deze maat is met name relevant voor eenstrooks rijbanen die onderdeel uitmaken van het doorgaande autosnelwegennet, zoals verbindingswegen.

5.4.3

Rijstrook

Een rijstrook is een door markering begrensde gedeelte van de rijbaan, dat voldoende breed is voor het voor dat gedeelte van de rijbaan bestemde rijdende verkeer. Het is een standaardonderdeel van de verhardingsbreedte. Op hoofdbanen van autosnelwegen worden minimaal twee rijstroken toegepast.

Een rijstrook heeft als functie het afwikkelen van rijdend verkeer op de rijbaan.

standaard rijstrookbreedtes

Voor wegen met E-nummering is de European Agreement on Main International Traffic Arteries (AGR, 1975) van toepassing. Deze schrijft een vaste ruimtebehoefte voor, die nodig wordt geacht om het verkeer de benodigde bewegingen binnen de eigen rijstrook te kunnen laten uitvoeren. In de AGR wordt een bruto rijstrookbreedte voorgeschreven van 3,50 m, gebaseerd op een snelheid van 140 km/u.

Deze bruto rijstrookbreedte wordt ook toegepast op de hoofdbanen van Nederlandse autosnelwegen en stadsautosnelwegen. Voor het verkrijgen van een constant en herkenbaar wegbeeld, het scheppen van duidelijkheid en het minimaliseren van fouten in het ontwerp, wordt de bruto breedte van 3,50 m voorgeschreven voor alle hoofdrijbanen van autosnelwegen (ook de autosnelwegen zonder E-nummer) en voor alle ontwerpsnelheden (zie tabel 5.26), inclusief verbindingswegen, toe- en afritten welke starten op hoofdbanen.

Voor rangeerbanen en parallelbanen met een ontwerpsnelheid van 90 km/u of lager geldt een niet doorgaand karakter met een lagere ontwerpsnelheid (zie paragraaf 4.2.2). Om dit in het wegbeeld te benadrukken wordt hier een rijstrookbreedte van 3,30 m voorgeschreven. Naast een smallere rijstrookbreedte dient het wegbeeld als geheel ook de lagere ontwerpsnelheid herkenbaar te zijn. Deze rijstrookbreedte wordt doorgevoerd op de verbindingswegen, toe- en afritten welke starten op parallel- en rangeerbanen. Voor parallelbanen met een ontwerpsnelheid van 120 km/u geldt de standaard breedte van 3,50 meter.

tabel 5.26. Standaard bruto rijstrookbreedtes

Type rijbaan		breedte	
		Doorgaande rijbaan*	Aansluitende verbindingswegen, toe- en afritten
Hoofdbaan	Standaard maat	3,50 m	3,50
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	3,50 m	3,50
	90 km/u	3,30 m.	3,30 m
	70 km/u		
	50 km/u	n.v.t.	

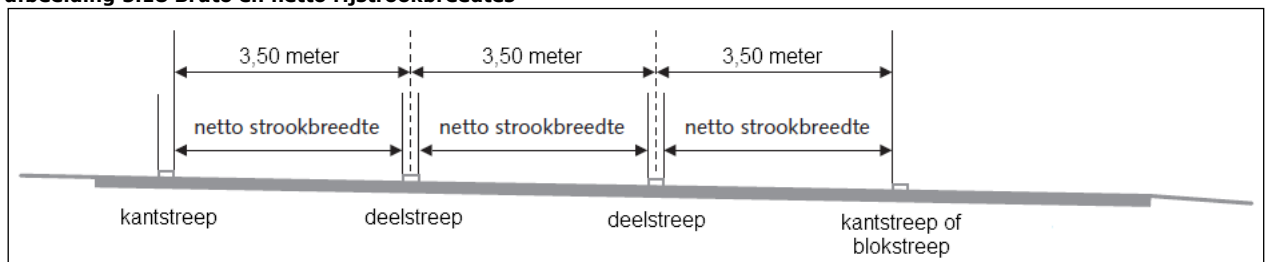
* voor niet hoofdbanen zijn dit parallel- en rangeerbanen

De ruimtebehoefte van voertuigen is verdisconteerd in de bruto rijstrookbreedte. Voor de bruto rijstrookbreedte gelden de volgende uitgangspunten:

- de breedte van een rijstrook wordt gemeten exclusief kantstreep;
- de breedte van een rijstrook wordt gemeten exclusief eventuele blokstreep;
- de breedte van een rijstrook wordt gemeten inclusief de helft van eventuele deelstrepen tussen de rijstroken.

Een nadere toelichting op bruto en netto rijstrookbreedte is weergegeven in afbeelding 5.18.

afbeelding 5.18 Bruto en netto rijstrookbreedtes



Rijstrookbreedtes in opstelvakken voor kruispunten met het onderliggende wegennet zijn beschreven in het Handboek Wegontwerp of het ASVV.

5.4.4

Vluchtstrook

Een vluchtstrook is een verharde strook aan de rechterzijde van een rijbaan waarop uitsluitend in bijzondere gevallen of in geval van nood mag worden gereden of gestopt. Het is een standaardonderdeel van de verhardingsbreedte.

Een vluchtstrook heeft de volgende functies:

- gelegenheid voor koerscorrectie;
- vlucht- en bergingsplaats voor gestrande voertuigen;
- rijstrook voor hulpdienstvoertuigen;
- rijstrook voor onderhoudsvoertuigen;
- eventuele ruimte-reservering door extra verhardingsbreedte, bijvoorbeeld ten behoeve van tijdelijke (onderhouds)situaties, zoals een 4-0-inrichting;
- herkenbaarheid van de autosnelweg als type weg (duurzaam veilig), leidend tot voorspelbaar gebruik van de autosnelweg.

Een vluchtstrook wordt toegepast langs alle wegvakken van de autosnelweg, ook langs verbindingswegen, toeritten en afritten:

- toerit: vluchtstrook aanwezig zodra kruising met onderliggend wegennet is verlaten;
- afrit: vluchtstrook aanwezig tot net voor de kruising met het onderliggend wegennet, of tot aan het punt waar een voorsorteervak aan de rechterzijde van de afrit begint. Een vluchtstrook tot het einde van de afrit is ongewenst vanwege het risico van bochtafsnijding en spookrijden, conform de Richtlijnen voor de Bebakening en Markering van Wegen;
- verbindingsweg: vluchtstrook langs volledige verbindingsweg.

standaard vluchtstrookbreedte

Voor de breedte van een vluchtstrook stelt de AGR dat deze minimaal 2,50 meter moet zijn, en bij een hoog aandeel vrachtverkeer 3,00 meter. In Nederland wordt een veiligheidszone van 1,10 m tot de functie rijden in de rijstrook (binnenkant kantstreep) aangehouden, waarbij er een maatgevend voertuig met een breedte van 2,60 m op de vluchtstrook kan staan. De reden

hiervoor is dat bij pechgevallen de rijstrook naast de vluchtstrook niet hoeft te worden afgekruid. De totale breedte van de vluchtstrook komt hiermee op 3,50 m exclusief kantstreep van 0,20 m (zie tabel 5.27).

tabel 5.27 Standaard vluchtstrookbreedte voor alle rijbanen

maatgevend voertuig	afstand tot werkvoertuig	Kantstreep*	totale breedte
2,60 m	1,10 m	0,20 m	3,50m

* de kantstreep telt niet mee in de breedte van de vluchtstrook

Wanneer op een rijbaan met vluchtstrook meer verhardingsbreedte wordt aangebracht dan nodig is volgens de standaardmaatvoering, bijvoorbeeld wanneer een 4-0-inrichting gewenst is, wordt dit toebedeeld aan de vluchtstrook. Voor een 4-0 inrichting is een verhardingsbreedte van 11,80 m benodigd bij 70 km/u, wat neerkomt op een vluchtstrookbreedte van 3,80 m. Bij 90 km/u is een verhardingsbreedte van 13,60 m benodigd, wat neerkomt op een vluchtstrookbreedte van 5,60 m. Voor overige onderhoudssystemen wordt verwezen naar de CROW Richtlijn 'Werk in Uitvoering'.

Indien er zwaarwegende redenen (een onderbouwing is noodzakelijk) zijn om af te wijken van een vluchtstrookbreedte van 3,50m dan bedraagt de minimum vluchtstrookbreedte 3,15m exclusief de kantstreep. Vluchtstroken smaller dan deze maat dienen vermeden te worden, omdat deze bij de weggebruiker de schijn wekken veilig te zijn, maar in werkelijkheid die veiligheid niet bieden, er dient immers voldoende ruimte te zijn voor het redresseren en vluchten tegelijkertijd.

bijzondere situaties

In bijzondere situaties kan de vluchtstrook aanvullende functies krijgen, zoals dynamische rijstrook of spitsstrook. In deze bijzondere situaties gelden aanvullende richtlijnen.

5.4.5

Redresseerstrook

Een redresseerstrook is een verharde strook links naast de linkerrijstrook. Deze strook heeft een beperkte breedte en is bedoeld om weggebruikers gelegenheid te geven hun koers te corrigeren. Aan de rechterzijde van de rijbaan doet de vluchtstrook dienst als redresseerstrook. De redresseerstrook is een standaardonderdeel van de verhardingsbreedte.

Een redresseerstrook heeft als functie het bieden van gelegenheid voor koerscorrectie.

redresseerstrookbreedte

In Nederland is voor de breedte van een redresseerstrook op autosnelwegen internationale regelgeving van toepassing. De European Agreement on Main International Traffic Arteries (AGR) schrijft een redresseerstrook voor, zonder een benodigde breedte te noemen. De benodigde breedte is wel indirect af te leiden uit teksten over andere wegtypen. Hier wordt beschreven dat aansluitend op de buitenste rijstrook een strook met een breedte van 0,70 m aanwezig moet zijn, inclusief kantstreep. In Nederland wordt echter een grotere breedte voorgeschreven. Daarnaast wordt in tegenstelling tot de AGR de redresseerstrook in Nederland gemeten exclusief kantstreep. De standaard breedte voor een redresseerstrook is weergegeven in tabel 5.28. De redresseerstrook is onderdeel van de objectafstand.

Bij een breedte groter dan de standaard breedte zou de redresseestrook kunnen worden gebruikt als extra rijstrook. Dit verkeersgedrag is ongewenst. Wanneer er extra verhardingsbreedte in de rijbaan moet worden opgenomen, dan wordt deze extra breedte toegepast aan de rechterzijde van de rijbaan, conform paragraaf 5.4.4.

tabel 5.28 Redresseestrookbreedte voor alle rijbanen

standaard breedte
0,60 m

5.4.6 *Invoegstrook, uitrijstrook, weefstrook*

Invoegstroken, uitrijstroken en weefstroken zijn bijzondere rijstroken met een beperkte lengte. Ze dienen als overgang op locaties waar verschillende rijbanen op elkaar aansluiten en grenzen aan een doorgaande rijstrook.¹³

Een invoegstrook heeft de volgende functies:

- afwikkelen van rijdend verkeer ten behoeve van invoegen naar de hoofdbaan;
- het bieden van ruimte aan verkeer om een hiaat te vinden alvorens de doorgaande rijbaan op te gaan.

Een uitrijstrook heeft de volgende functies:

- afwikkelen van rijdend verkeer ten behoeve van uitvoegen van de hoofdbaan;
- bieden van de benodigde lengte voor comfortabele deceleratie (gas loslaten: circa 1,5 m/s²) naar de ontwerpsnelheid van de afbuigende rijbaan.

Een weefstrook heeft de volgende functies:

- afwikkelen en uitwisselen van rijdend verkeer met gelijke snelheid afkomstig van verschillende rijbanen en gaande naar verschillende rijbanen;
- bij ongelijkwaardige verkeersstromen: bieden van de benodigde lengte voor comfortabele deceleratie (gas loslaten: circa 1,5 m/s²) naar de ontwerpsnelheid van de afbuigende rijbaan;
- het bieden van ruimte aan verkeer om een hiaat te vinden alvorens de andere rijbaan op te gaan.

standaard rijstrookbreedte

Voor de dimensionering van de rijstroken gelden dezelfde eisen als voor standaard rijstroken: de breedte van een invoegstrook, uitrijstrook of weefstrook wordt gemeten exclusief blokmarkering en exclusief kantstreep; bij toeleidende en/of afbuigende rijbanen die uit twee of meer rijstroken bestaan, worden de rijstrookbreedtes gemeten inclusief (de helft van) de deelstreep tussen de rijstroken. De standaardbreedtes voor invoegstroken, uitrijstroken en weefstroken zijn weergegeven in tabel 5.29. De maat is afhankelijk van het type rijbaan waar de strook langs ligt.

¹³ Indien dubbele invoegstroken, uitrijstroken of weefstroken worden toegepast, grenst slechts de binnenste strook aan een doorgaande rijstrook.

tabel 5.29 Standaard rijstrookbreedtes invoegstrook, uitrijstrook, weefstrook

Type Rijbaan		Breedte
Hoofdbaan	Standaard maat	3,50 m
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	3,50 m
	90 km/u	3,30 m
	70 km/u	
	50 km/u	

Rijstrookbreedtes in opstelvakken voor kruispunten met het onderliggende wegennet zijn beschreven in het Handboek Wegontwerp of het ASVV.

5.4.7

Lengtemarkering

Lengtemarkering bestaat uit doorgetrokken of onderbroken lijnen die op of in het oppervlak van de verharding zijn aangebracht ter geleiding of regeling van het verkeer.

Lengtemarkering heeft de volgende functies:

- begrenzen rijstroken;
- visueel geleiden van wegverkeer¹⁴.

Voor lengtemarkering kan onderscheid gemaakt worden tussen:

- kantstreep / kantmarkering;
- deelstreep / deelmarkering;
- blokstreep / blokmarkering.

Een kantstreep wordt aangebracht tussen de rijstrook en de redresseerstrook of vluchtstrook. Een deelstreep wordt aangebracht tussen twee rijstroken. Een blokstreep wordt aangebracht tussen een doorgaande rijstrook en een invoegende, uitvoegende of wevende strook. De breedte van de lengtemarkering is onafhankelijk van de ontwerpsnelheid en het type rijbaan. De standaardbreedtes zijn weergegeven in tabel 5.30.

tabel 5.30 Breedtes lengtemarkering

element	breedte
kantstreep	0,20 m
deelstreep	0,15 m
blokstreep	0,45 m

Breedtes van lengtemarkering in opstelvakken voor kruispunten met het onderliggende wegennet zijn beschreven in het Handboek Wegontwerp of het ASVV.

Voor aanvullende richtlijnen wordt verwezen naar de 'Richtlijnen voor de Bebakening en Markering van Wegen' (CROW 207).

5.4.8

Bochtverbreding

Bochtverbreding wordt toegepast in krappe horizontale bogen, voornamelijk omdat de achterwielen van een voertuig bij het doorlopen van de boog een meer naar binnen gelegen baan beschrijven dan de voorwielen. Bij krappe horizontale bogen (boogstraal van 300 m of

¹⁴ Lengtemarkering zorgt samen met bebording en bebakening voor een verkeersveilige geleiding van verkeer.

minder), die veelal worden toegepast in verbindingswegen of bij toe- en afritten, is het verschil tussen de boogstraal van de voor- en achterwielen significant.

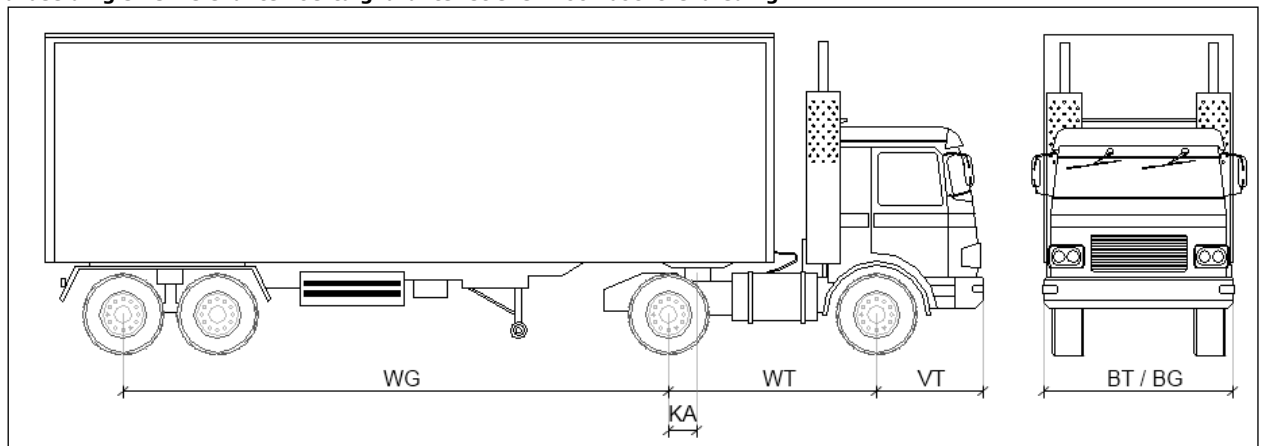
Het verschil tussen de beide boogstralen wordt berekend met de volgende formule, waarbij een trekker met oplegger als maatgevend voertuig wordt gehanteerd:

$$R_{\text{buiten}} = \sqrt{\left[\sqrt{\left(R_{\text{binnen}} + \frac{BG}{2} \right)^2 + (WG + KA)^2 - KA^2} + \frac{BT}{2} \right]^2 + (WT + VT)^2}$$

Hierin is (zie ook afbeelding 5.19):

- R_{binnen} : boogstraal binnenbocht bij het verst naar binnen gelegen punt van het voertuig (achteras van de oplegger ter hoogte van de bovenbouw) (m);
- R_{buiten} : boogstraal buitenbocht bij het verst naar buiten gelegen punt van het voertuig (buitenzijde van de voorkant van de bovenbouw van de trekker) (m);
- BT : breedte trekkend voertuigdeel (2,60 m);
- BG : breedte getrokken voertuigdeel (2,60 m);
- WT : wielbasis trekkend voertuigdeel (4,42 m);
- WG : wielbasis getrokken voertuigdeel (9,40 m);
- VT : vooroverbouw trekkend voertuigdeel (1,55 m);
- KA : koppelingsafstand (1,10 m).

afbeelding 5.19 Relevante voertuigkarakteristieken voor bochtverbreding



De benodigde bochtverbreding wordt verkregen door van het verschil tussen de buitenbocht van de voorzijde trekker en de binnenbocht van de achterzijde oplegger, de volgende componenten af te trekken:

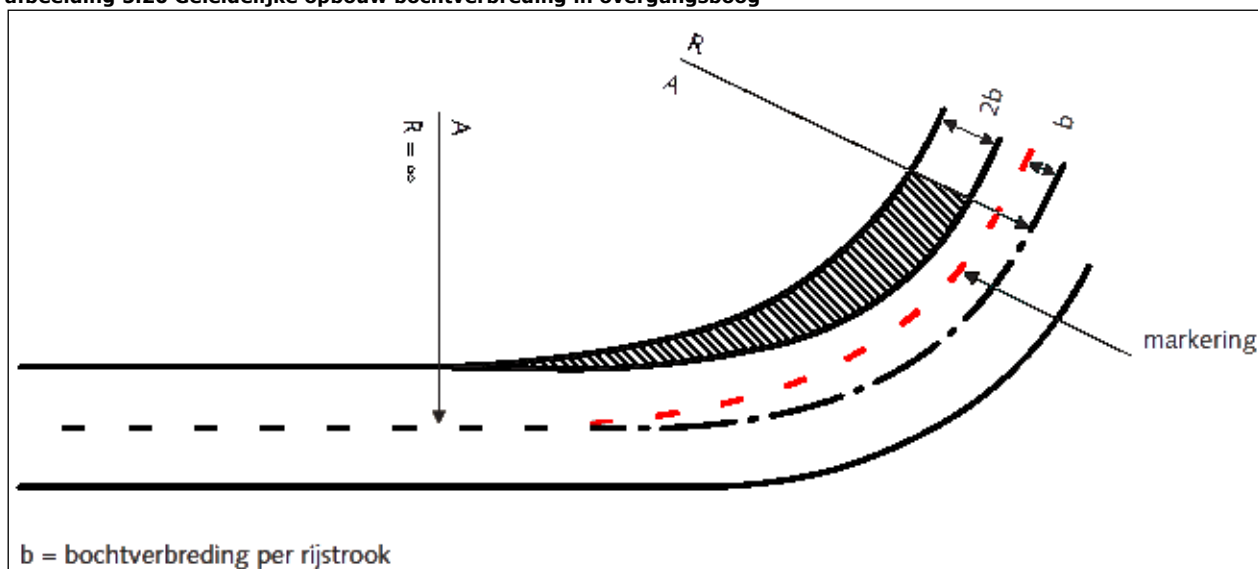
- voertuigbreedte maatgevend voertuig (2,60 m);
- restruimte, bestaande uit het verschil tussen de rijstrookbreedte en de breedte benodigd voor het uitvoeren van de rijtaak.

tabel 5.31 Rijstrookbreedtes in krappe horizontale bogen

horizontale boogstraal		bijbehorende ontwerp-snelheid	benodigd voor uitvoering rijtaak	restruimte*	benodigde bochtverbreiding	resulterende rijstrookbreedte
binnenbocht	buitenbocht					
300 m	302,84 m	70 km/u	3,05 m	0,45 m	0,00 m	3,50 m
250 m	252,89 m	70 km/u	3,05 m	0,45 m	0,00 m	3,50 m
200 m	202,96 m	70 km/u	3,05 m	0,45 m	0,00 m	3,50 m
170 m	173,02 m	50 km/u	2,80 m	0,70 m	0,00 m	3,50 m
150 m	153,08 m	50 km/u	2,80 m	0,70 m	0,00 m	3,50 m
120 m	123,19 m	50 km/u	2,80 m	0,70 m	0,00 m	3,50 m
100 m	103,31 m	50 km/u	2,80 m	0,70 m	0,00 m	3,50 m
90 m	93,39 m	50 km/u	2,80 m	0,70 m	0,10 m	3,60 m
80 m	83,48 m	50 km/u	2,80 m	0,70 m	0,20 m	3,70 m

* uitgaande van een rijstrookbreedte van 3,50 m

Uit tabel 5.31 is af te lezen dat voor bogen met een boogstraal $R \leq 90$ m bochtverbreiding nodig is. Deze bochtverbreiding vindt geleidelijk plaats in de overgangsboog; bij het begin van de horizontale boog is de benodigde breedte volledig aanwezig (zie afbeelding 5.20). Het omgekeerde geldt voor de afbouw van de bochtverbreiding. De bochtverbreiding mag zowel aan de binnenzijde als buitenzijde van de boog worden gerealiseerd; visueel is dit niet onderscheidend.

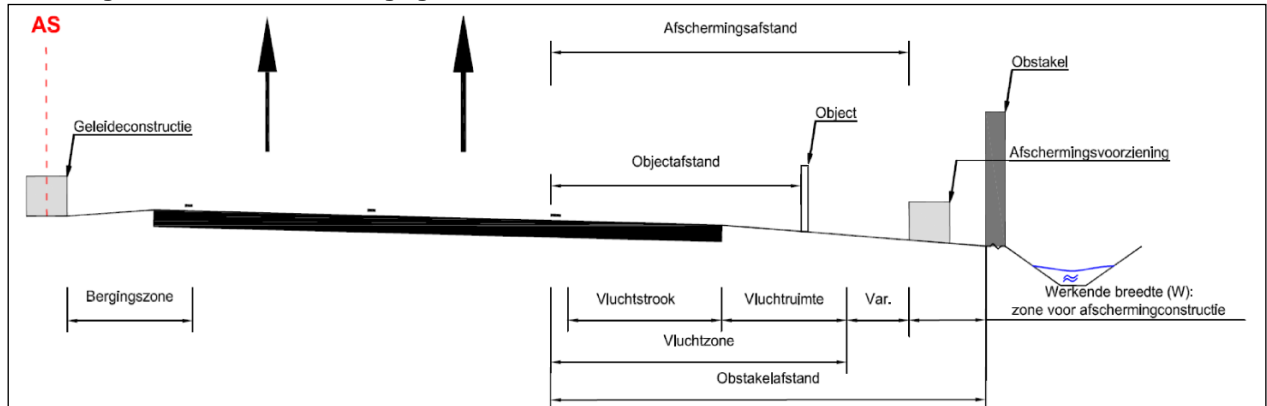
afbeelding 5.20 Geleidelijke opbouw bochtverbreiding in overgangsboog

5.4.9 Vluchtruimte en bergingszone

De bergingszone is het deel van de rijbaan (redresseerstrook en kantstreep) en wegberm naast de binnenste rijstrook. Het is een standaardonderdeel van het dwarsprofiel aan de linkerzijde van de rijbaan.

De vluchtruimte is de onverharde ruimte naast de vluchtrook en direct grenzend aan de rechterzijde van de verharding. Het is een standaardonderdeel van het totale dwarsprofiel.

afbeelding 5.21 Vluchtruimte en bergingszone



De vluchtzone is de som van de breedtematen van de kantstreep, de vluchtstrook en de vluchtruimte.

bergingszone

De bergingszone is bestemd voor (tegen de afschermingsvoorziening) gestrande voertuigen. Hierdoor hebben gestrande voertuigen een minder negatieve invloed op de verkeersafwikkeling en de capaciteit.

De bergingszone wordt gedimensioneerd op de afmetingen van een personenauto. Een chauffeur van een vrachtauto zal immers niet of nauwelijks gebruik maken van (een bergingszone aan) de linkerzijde van een rijbaan. De benodigde breedte bedraagt 2,50 m (afgerond). Deze breedte is als volgt opgebouwd:

- kantstreep van 0,20 m;
- ontwerpvoertuigbreedte van 1,77 m;
- uitstapbreedte van 0,50 m.

In de bergingszone mogen geen obstakels voorkomen. Wel mogen incidentele botsveilige objecten worden geplaatst, mits buiten het profiel van vrije ruimte. Het verticale profiel van vrije ruimte in de bergingszone bedraagt 4,60 m. De helling van de bergingszone is 1:20.

tabel 5.32 Afmetingen bergingszone alle typen rijbanen

breedte	verticaal profiel van vrije ruimte
2,50 m	4,60 m

vluchtruimte

De vluchtruimte is bestemd voor gestrande voertuigen om de vluchtstrook vrij te kunnen houden, waardoor de kans op ongelukken op de vluchtstrook kleiner wordt. In combinatie met de vluchtstrook en de kantstreep vormt deze ruimte de vluchtzone.

De vluchtruimte is gedimensioneerd op de afmetingen van een personenauto. Een chauffeur van een vrachtauto zal niet of nauwelijks gebruik maken van een onverharde berm in verband met de (onbekende) draagkracht van de berm. De benodigde breedte bedraagt 2,50 m (afgerond). Deze breedte is als volgt opgebouwd:

- ontwerpvoertuigbreedte van 1,77 m;
- uitstapbreedte van 0,50 m;
- restbreedte van 0,20 m¹⁵.

In de vluchtruimte mogen in langsrichting geen objecten voorkomen. Wel mogen incidentele botsveilige objecten worden geplaatst, mits buiten het profiel van vrije ruimte. Het verticale profiel van vrije ruimte binnen de vluchtruimte bedraagt 4,60 m. De helling van de vluchtruimte is 1:20.

tabel 5.33 Afmetingen vluchtruimte alle typen rijbanen

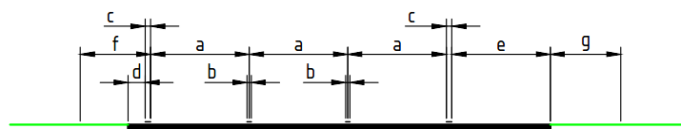
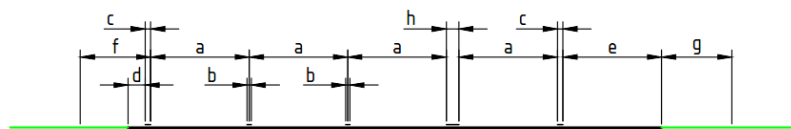
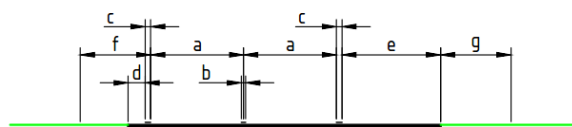
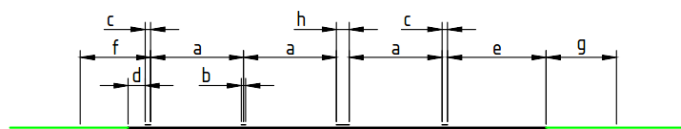
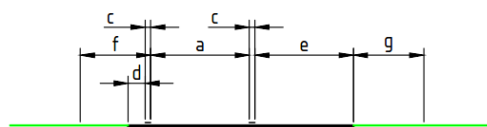
breedte	verticaal profiel van vrije ruimte
2,50 m	4,60 m

5.4.10 Normaal dwarsprofielen rijbanen

De maten ten aanzien van rij-, vlucht-, redresseer-, invoeg-, uitrij-, weefstroken, markering, vlucht- en bergingszone leiden tot normaal dwarsprofielen. Hier zijn een aantal voorbeelden van gegeven in afbeelding 5.22.

Rijstrookbreedtes in opstelvakken voor kruispunten met het onderliggende wegennet zijn beschreven in het Handboek Wegontwerp of het ASVV.

¹⁵ Deze restbreedte is toegevoegd opdat de breedte van de vluchtruimte even groot is als de breedte van de bergingszone. Dit is gewenst om verwarring in het wegontwerp te voorkomen.

afbeelding 5.22 Normaal dwarsprofielen rijbanen

3 strooks hoofdbaan

3 strooks hoofdbaan met invoeg-, uitrij- of weefstrook

2 strooks parallel- of rangeerbaan

2 strooks parallel- of rangeerbaan met invoeg-, uitrij- of weefstrook

1 strooks verbindingsweg, toe- of afrit

	Hoofdbaan	Parallel- of rangeerbaan	Verbindingsweg, toe- of afrit
a. Rijstrook	3,50 m	3,30 m*	3,50 / 3,30 m**
b. Deelstreep	0,15 m	0,15 m	0,15 m
c. Kantstreep	0,20 m	0,20 m	0,20 m
d. Redresseerstrook	0,60 m	0,60 m	0,60 m
e. Vluchstrook	3,50 m	3,50 m	3,50 m
f. Bergingszone	2,50 m	2,50 m	2,50 m
g. Vluchtruimte	2,50 m	2,50 m	2,50 m
h. Blokstreep	0,45 m	0,45 m	0,45 m

* Bij een parallelbaan met een ontwerpsnelheid van 120 km/u geldt een rijstrookbreedte van 3,50 m

** De rijstrookbreedte op een verbindingsweg, toe- of afrit is gelijk aan de rijstrookbreedte van de rijbaan waar deze op aansluit. Indien noodzakelijk moet hier bochtverbreding bij worden opgeteld.

5.4.11 Middenberm

Een middenberm is gesitueerd tussen twee hoofdbanen met een tegengestelde rijrichting. Een middenberm heeft de volgende functies:

- scheiden hoofdbanen;
- reduceren ongevalsrisico;
- bergingszone voor gestrande voertuigen;
- ruimte voor objecten (onder andere portalen en bebording).

obstakelvrije middenberm

De obstakelvrije middenberm dient om de risico's voor derden en voor inzittenden van het voertuig dat uit de koers is geraakt, te beperken dan wel te voorkomen. Risico's voor inzittenden treden op bij een botsing tegen een obstakel of bij het inrijden van een sloot, rivier of talud. Risico's voor derden treden onder meer op bij een doorschrijding van de middenberm.

tabel 5.34 Breedte obstakelvrije middenberm ter reductie van risico's derden

Type rijbaan	Breedte*
Hoofdbaan	25,00 m
Hoofdbaan stadsautosnelweg	20,00 m

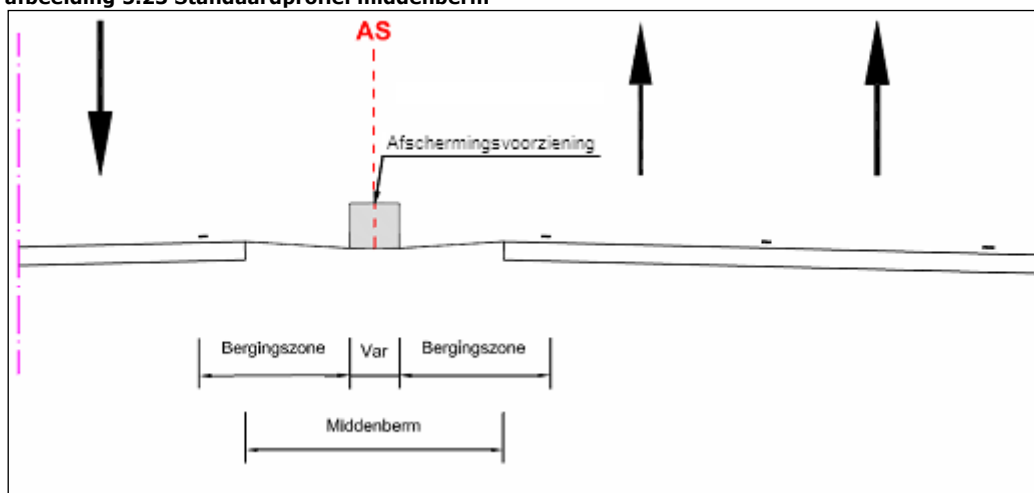
* De breedte van de obstakelvrije middenberm wordt gemeten tussen binnenkant kantstreep en binnenkant kantstreep.

standaard middenberm

De realisatie van een obstakelvrije middenberm heeft uit het oogpunt van verkeersveiligheid veruit de voorkeur boven het afschermen van obstakels of gevarenczones. Een afschermingsvoorziening geeft immers bij een aanrijding ook een zeker risico op letsel.

Vanwege het ruimtebeslag is het in standaard situaties echter vaak niet mogelijk om in middenbermen een obstakelvrije zone te realiseren. Om die reden mag de breedte worden gereduceerd door een doorgaande afschermingsvoorziening (hierin mogen geen obstakels of andere objecten zijn opgenomen) met aan weerszijden een bergingszone aan te brengen. Het standaardprofiel voor de middenberm is weergegeven in afbeelding 5.23.

afbeelding 5.23 Standaardprofiel middenberm



De breedte van de middenberm is afhankelijk van de bergingszone, de breedte van de afschermingsvoorziening en de breedte van eventuele obstakels binnen de

afschermingsvoorzieningen. De richtlijnen voor de bergingszone zijn beschreven in paragraaf 5.4.9. Voor de richtlijnen met betrekking tot afschermingsvoorzieningen wordt verwezen naar de Richtlijn 'Veilige inrichting van bermen'.

tabel 5.35. Standaardmaatvoering middenberm

element	maatvoering
breedte middenberm	variabel
bergingszone	2,50 m
breedte afschermingsvoorziening	variabel

Indien noodzakelijk kunnen binnen de obstakelvrije zone gootconstructies worden aangebracht voor zover dat geen gevaar oplevert voor het verkeer en de werking van een eventueel aanwezige afschermingsvoorziening daardoor niet nadelig wordt beïnvloed. Deze gootconstructie dient dan buiten de redresseerstrook te worden aangebracht.

5.4.12 *Buitenberm*

Een buitenberm is gesitueerd aan de buitenzijde van een autosnelweg. Bij het inrichten van een buitenberm kan worden gekozen voor een obstakelvrije inrichting, inrichting met botsvriendelijke objecten of voor een inrichting met een afschermingsvoorziening. Uit het oogpunt van verkeersveiligheid heeft het realiseren van een obstakelvrije buitenberm de voorkeur boven het afschermen van obstakels middels een afschermingsvoorziening. Indien binnen de obstakelvrije zone obstakels gesitueerd zijn, dienen deze afgeschermd te worden. Een obstakel is een voorwerp, beplantingselement of dwarsprofiелеlement dat bij aanrijding ernstige schade aan een voertuig en/of (dodelijk) letsel aan de inzittenden kan veroorzaken.

Een buitenberm heeft de volgende functies:

- vluchtruimte;
- ruimte voor objecten (onder andere portalen, bebording, geluidswerende voorzieningen, kabels & leidingen, etc.);
- geleidelijke overgang naar wegomgeving;
- infiltratie hemelwater;
- onderhoudsruimte.

obstakelvrije buitenberm

De obstakelvrije buitenberm dient om de risico's voor derden en voor inzittenden van het voertuig dat uit de koers is geraakt, te beperken dan wel te voorkomen. Risico's voor inzittenden treden op bij een botsing tegen een obstakel of bij het inrijden van een sloot, rivier of talud. Risico's voor derden treden onder meer op bij een naastgelegen parallelweg. De obstakelvrije buitenberm is zodanig breed, dat een uit de koers geraakt voertuig op een vlakke draagkrachtige berm binnen deze breedte blijft door te redresseren of te stoppen. In paragraaf 5.4.14 is toegelicht waaraan de berm moet voldoen om als (onderdeel van de) obstakelvrije zone aangemerkt te kunnen worden.

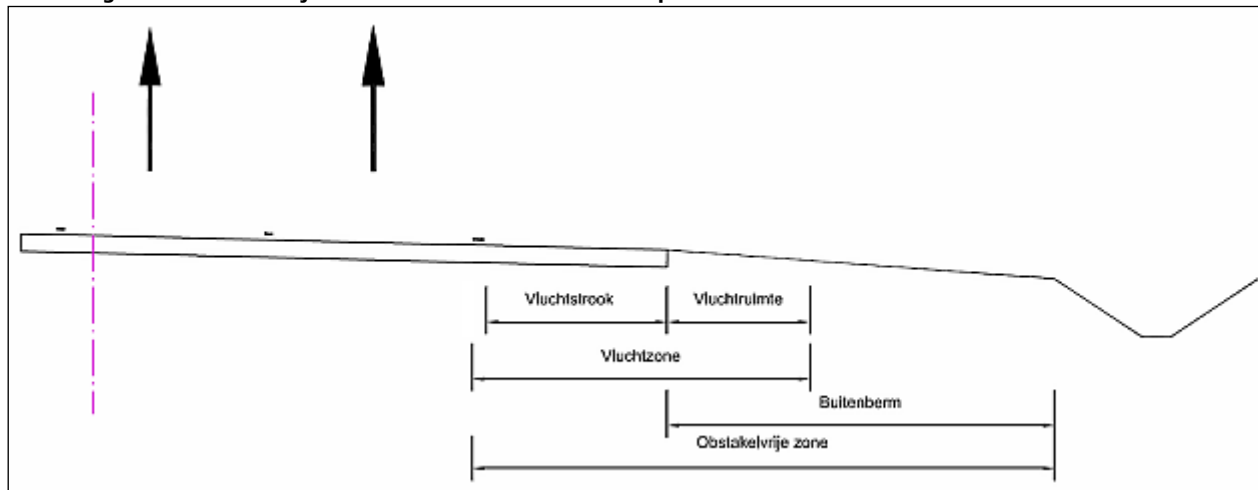
tabel 5.36 Minimale breedte obstakelvrije zone ter reductie van risico's inzittenden en derden

Type rijbaan		breedte t.b.v. risico's inzittenden	breedte t.b.v. risico's derden
Hoofdbaan	Minimale maat	13,00 m	20,00 m
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	13,00 m	20,00 m
	90 km/u	10,00 m	20,00 m
	70 km/u	6,00 m*	12,00 m
	50 km/u	4,50 m*	9,00 m

*) bij toepassing van deze minimale maat wordt niet voldaan aan de minimale maat voor vluchtruimte naast een vluchstrook. Dit moet worden meegenomen in de afweging.

Afhankelijk van het risico is de bovenstaande maat onvoldoende. Er treed bijvoorbeeld meer risico op bij een kanaal dan bij een boom. Zie voor een verdere onderbouwing de ROA Veilige Inrichting Bermen.

De obstakelvrije zone wordt gemeten vanaf de binnenkant van de kantstreep. De buitenberm wordt in het standaard dwarsprofiel gemeten vanaf de buitenzijde van de verharding. De minimale breedte van de buitenberm in het standaard dwarsprofiel wordt aldus verkregen door de (minimale) breedte van de obstakelvrije zone te verminderen met de vluchstrookbreedte inclusief kantstreep (3,70 m). Indien de buitenberm is gelegen in de buitenbocht van een krappe boogstraal ($R \leq 300$ m) dan dient een grotere obstakelvrije zone te worden toegepast dan de minimale maat zoals hier omschreven. Zie hiervoor de ROA Veilige Inrichting Bermen.

afbeelding 5.24. Obstakelvrije buitenberm in standaard dwarsprofiel

buitenberm met obstakels

Wanneer binnen de obstakelvrije zone obstakels gesitueerd worden, dient eerst beschouwd te worden of deze niet buiten de obstakelvrije zone geplaatst kunnen worden of botsvriendelijk uit te voeren. Indien dit niet mogelijk is dienen deze obstakels afgeschermd te worden. De standaardoplossing voor afscherming van obstakels is het toepassen van een afschermingsvoorziening. Bij het toepassen van een afschermingsvoorziening dienen de vluchtruimte en de vluchtzone in acht te worden genomen, dus de afschermingsvoorziening dient buiten de vluchtruimte en vluchtzone geplaatst te worden. Voor de richtlijnen voor het toepassen van een afschermingsvoorziening wordt verwezen naar de Richtlijn 'Veilige inrichting van bermen'.

Indien noodzakelijk kunnen binnen de obstakelvrije zone gootconstructies worden aangebracht voor zover dat geen gevaar oplevert voor het verkeer en de werking van een eventueel

aanwezige afschermingsvoorziening daardoor niet nadelig wordt beïnvloed. Deze gootconstructie dient dan buiten de vluchtstrook te worden aangebracht.

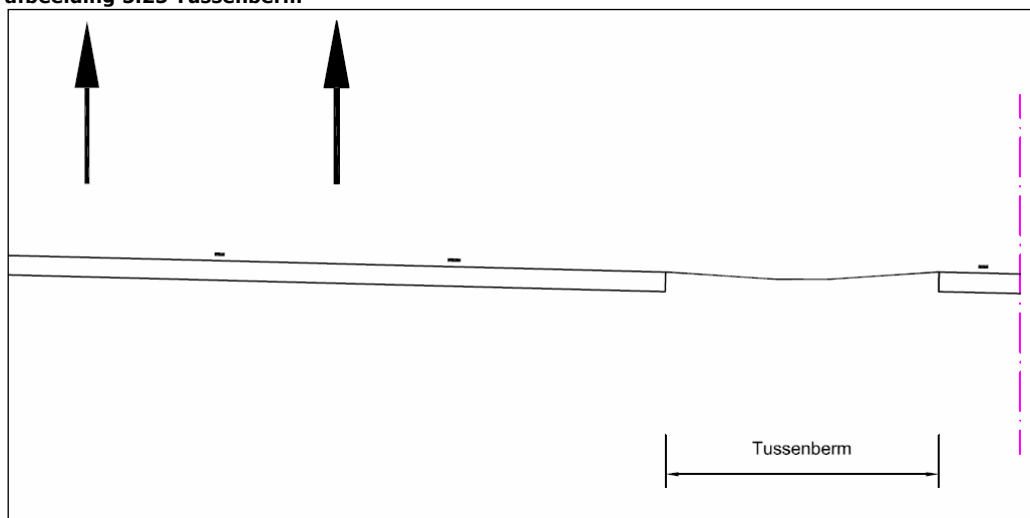
5.4.13 *Tussenberm*

Een tussenberm is gesitueerd tussen twee rijbanen of wegen met dezelfde rijrichting. Een tussenberm heeft de volgende functies:

- scheiden rijbanen;
- onderhoudsruimte.

De tussenberm is een combinatie van een buitenberm voor de binnenste rijbaan en een middenberm voor de buitenste rijbaan. Er gelden bij niet-obstakelvrije tussenbermen daarom dezelfde randvoorwaarden voor de bergingszone, vluchtzone en uitbuigingsruimte als bij de midden- of buitenberm. De ROA Veilige Inrichting Bermen gaat specifiek in op de inrichting van de tussenberm.

afbeelding 5.25 Tussenberm



5.4.14 *Talud*

Een talud is een hellend vlak van een ingraving of ophoging. Taluds kunnen op drie manieren voorkomen:

- neergaand talud;
- opgaand talud;
- sloten en beken.

Een talud heeft de volgende functies:

- overwinnen hoogteverschil tussen weg en omgeving;
- afvoeren van hemelwater;
- inpassing weg(lichaam) in landschap.

Een talud kan niet worden gepositioneerd in een bergingszone of vluchtzone, welke standaard een helling van 1:20 hebben. Wanneer het talud deel uitmaakt van de obstakel vrije zone, gelden er specifieke eisen aan hellingen en afrondingen, waardoor het talud niet geclassificeerd hoeft te worden als object.

De eisen voor neergaande en opgaande taluds in obstakelvrije zones zijn opgenomen in de ROA Veilige Inrichting Bermen.

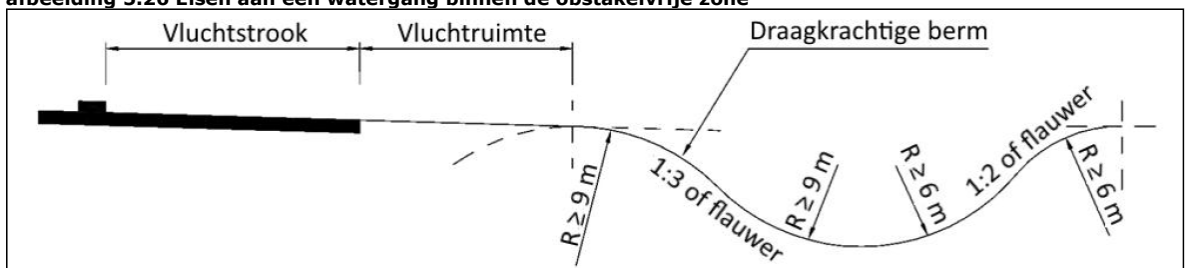
sloten en greppels

Voor sloten en beken binnen de obstakelvrije zone gelden de volgende eisen:

- ingraving conform de eisen aan neergaande en opgaande taluds;
- waterdiepte $\leq 1,0$ m;
- minimaal 50 weken per jaar droog.

De bovenstaande eisen zijn nader toegelicht in afbeelding 5.26. Voor aanvullende richtlijnen aan opgaande taluds wordt verwezen naar de Richtlijn 'Veilige inrichting van Bermen'.

afbeelding 5.26 Eisen aan een watergang binnen de obstakelvrije zone



5.4.15 Principe dwarsprofiel

In een principe dwarsprofiel wordt voor een kenmerkende situatie de breedte en daarmee het ruimtebeslag van het ontwerp weergegeven. In het principe dwarsprofiel worden alle stroken, ruimtes en markeringen aangegeven en gedimensioneerd. Een principe dwarsprofiel bevat daarom de volgende elementen die integraal op elkaar zijn afgestemd:

- de elementen uit het normaal dwarsprofiel (zie paragraaf 5.4.10);
- verhardingsbreedte;
- verhardingstrappen;
- fundering;
- goten;
- riolering;
- obstakelvrije bermen;
- eventuele voertuigkeringen inclusief werkende breedte;
- ondersteuning van kunstwerken;
- portaalpoten en kasten;
- kabel en leidingen tracés;
- verlichting;
- geluidwerende voorzieningen inclusief fundering;
- onderhoudsstroken
- eventuele taluds
- bomen inclusief plantgat
- sloten;
- overige benodigde berminrichting.

5.5 Dwarshelling, ruimtelijke helling en afwatering

De dwarshelling is de helling van een rijbaan loodrecht op de rijrichting. De dwarshelling vormt in combinatie met de langshelling de ruimtelijke helling. Binnen de dwarshelling is onderscheid te maken in afschot en verkanting. Al deze aspecten hebben invloed op de afwatering.

5.5.1

Afschot

Afschot is de dwarshelling van het oppervlak van de verharding of wegberm ten behoeve van de afvoer van hemelwater. Voor een goede waterafvoer is een afschot van minimaal 2,5% benodigd. Het afschot van de wegberm bedraagt standaard 5%, onafhankelijk van de dwarshelling van de verharding. De berm dient niet naar de weg toe af te wateren.

tabel 5.37 Standaard afschot alle typen rijbanen

afschot	
verharding	wegberm
2,5 %	5,0 %

5.5.2

Verkanting

Verkanting is de dwarshelling van het oppervlak van de verharding ten behoeve van compensatie voor het afglijden van rijdende voertuigen als gevolg van de middelpuntvliedende kracht in horizontale bogen. In horizontale bogen wordt verkanting toegepast indien de boogstraal onder een bepaalde grenswaarde komt. Er wordt een grotere verkanting toegepast naarmate de horizontale boogstraal kleiner wordt, om zo de weggebruiker te ondersteunen bij het uitvoeren van zijn rijtaak. Het oppervlak van de verharding heeft een oplopende hoogte naar de buitenzijde van de boog.

Daarnaast vervult de verkanting ook een functie in het wegbeeld, door de zichtbaarheid van een boog te verbeteren. Bovendien bevordert de verkanting de continuïteit van het wegbeeld, door bij een gekozen ontwerpsnelheid aan een krappere boog een evenredig grotere verkanting gegeven. Zo wordt de inschatting van de boog ondersteund.

Verkanting wordt toegepast indien de horizontale boogstraal zodanig klein is, dat er compensatie nodig is voor de middelpuntvliedende kracht op rijdende voertuigen. De verkanting neemt dan ook de waterafvoerende functie van het afschot over, waardoor de ondergrens voor de verkanting 2,5 % bedraagt. Voor ruimere bogen dan de waarden zoals weergegeven in tabel 5.38 hoeft geen verkanting te worden toegepast. Het afschot mag in die situaties ook aflopen naar de buitenzijde van de boog. Dit wordt ook wel tegenverkanting genoemd.

tabel 5.38 Grenswaarden horizontale boogstralen waaronder verkanting noodzakelijk is

Type rijbaan	minimale boogstraal	
Hoofdbaan	Minimale maat	4.000 m
Niet-hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	4.000 m
	90 km/u	2.000 m
	70 km/u	800 m
	50 km/u	300 m

De verkanting in horizontale bogen kan op niet-hoofdbanen worden opgehoogd naar maximaal 7,0%. Voor de relatie tussen horizontale bogen en verkanting wordt verwezen naar paragraaf 5.2.2.

tabel 5.39 Maximale verkanting in bogen

Type rijbaan	verkanting
hoofdbaan	2,5 %
niet-hoofdbanen	7,0 %

5.5.3 Verkantingsovergang

Een verkantingsovergang is het gedeelte van de rijbaan waar de dwarshelling (verkanting) verandert. Bij een gelijkgerichte verkantingsovergang wordt de helling vergroot of verkleind, zonder dat de afwateringsrichting verandert. Bij een wettelende verkantingsovergang vindt er een richtingsverandering van de verkanting plaats.

verkantingsfiguren

Voor de vormgeving van de verkantingsovergang kan onderscheid gemaakt worden tussen de rechtlijnige en cirkelvormige verkantingsfiguur.

Bij een rechtlijnig verkantingsfiguur is het verticale alignement van de kantstreep recht. Daardoor verandert de dwarshelling lineair. Aangezien in de overgangsboog de verandering van de boogstraal ook lineair verloopt, is er steeds een lineair verband tussen de straal in het horizontale alignement en de verkanting in een bepaald punt van de verkantingsovergang.

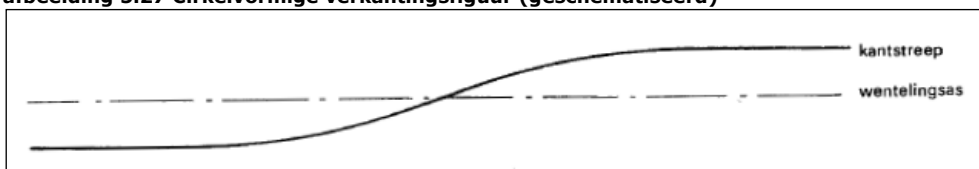
Een cirkelvormige verkantingsfiguur is opgebouwd uit twee cirkelsegmenten. Hierdoor ontstaat een vloeiende verkantingsovergang, waarbij de kantstreep twee tegengesteld gerichte cirkelbogen doorloopt. Er bestaat dan geen lineair verband tussen de verandering van de straal in het horizontale alignement en de verkanting in een bepaald punt van de verkantingsovergang. Een cirkelvormige verkantingsfiguur biedt voordelen ten opzichte van de rechtlijnige:

- afwatering: de cirkelvormige verkantingsfiguur heeft ter plaatse van het verkantingsnulpunt een grotere relatieve langshelling;
- esthetiek: een rechtlijnige en een cirkelvormige verkantingsfiguur met dezelfde wentelingslengte hebben nagenoeg dezelfde visuele kwaliteit. Voor een vergelijkbare prestatie wat betreft waterafvoer moet de rechtlijnige verkantingsfiguur echter de helft korter zijn dan een cirkelvormige verkantingsfiguur.

Comfort is niet maatgevend bij verkantingsovergangen: onderzoek¹⁶ heeft aangetoond dat de verticale versnelling als gevolg van de verkantingsovergang wegvalt tegen verticale versnellingen door oneffenheden in de weg en trillingen in het chassis van het voertuig.

Voor het ontwerp van autosnelwegen worden cirkelvormige verkantingsfiguren toegepast. De ontwerper dient hierbij altijd te waarborgen dat de weg(markering) zichtbaar blijft.

afbeelding 5.27 Cirkelvormige verkantingsfiguur (geschematiseerd)



locatie wentelingsas

De locatie van de wentelingsas dient afhankelijk van de situatie geoptimaliseerd te worden. Hierbij spelen de volgende aspecten mee:

- wegbeeld:
 - . wegverloopzicht en inschatting van horizontale bogen;
 - . fraaiheid (knikken);
- afwatering.

¹⁶ SIMWO – simulatie verkantingsovergangen, deelrapporten I t/m III. 2009

De volgende overwegingen spelen bij deze aspecten een rol:

- wenteling om de kantstreep van de binnenboog biedt voordelen wanneer de boog aansluit op een (nagenoeg) recht wegvak, omdat de boog dan goed te overzien is doordat de kantstreep van de binnenboog niet 'wegduikt'. Hierdoor is het verloop van de horizontale boog beter in te schatten;
- in gebogen tracés wordt vaak de rijbaanas als wentelingsas gekozen (S-bogen);
- bij een verkantingsovergang in combinatie met een verticale boog zal bij wenteling om de kantstreep van de binnenboog vooral gelet moeten worden op het verloop van de kantstreep van de buitenboog in het wegbeeld. Naarmate de wentelingsas meer naar de rijbaanas verschoven wordt, ontstaat er meer kans op een afwijkende vorm van de kantstreep van de binnenboog (knikken). Deze kan zo ver wegduiken, dat hij plaatselijk aan het zicht onttrokken wordt, hetgeen niet acceptabel is. De uiteindelijke locatie van de wentelingsas is situatieafhankelijk en dient daarom per situatie geoptimaliseerd te worden;
- wenteling om de kantstreep van de binnenboog kan voordelen bieden in verband met de drainage van het weglichaam en afwatering van het wegdek bij hoge grondwaterstanden;
- de kant verharding is geen gewenste locatie van de rijbaanas, vanwege de grotere kans op fouten in het wegbeeld.

Bij vijf rijstroken of meer dient geschoven te worden met de omwentelingsas, zodat aan één zijde van de as maximaal vier rijstroken resteren.

lengte verkantingsovergang

In het geval van een wentelende verkantingsovergang kunnen er afwateringsproblemen optreden bij een langshelling tussen -2,0% en 2,0%. Ergens in de verkantingsovergang zal namelijk een dwarsdoorsnede voorkomen waar de dwarshelling nul is (het verkantingsnulpunt). Afhankelijk van de ruimtelijke helling leidt dit tot een afwateringsprobleem.¹⁷ Om dit afwateringsprobleem te minimaliseren, dient een maximum aan de lengte voor de verkantingsovergang te worden gesteld. De maximale lengte voor de verkantingsovergang wordt berekend met de volgende formule:

$$L_{v_max} = 2 * \frac{i_e - i_b}{\Delta S_{min}} * B$$

Hierin is:

- L_{v_max} : maximale verkantingslengte (m) met het oog op afwatering;
- i_e : verkanting aan het eind van de verkantingsovergang (%);
- i_b : verkanting aan het begin van de verkantingsovergang (%);
- ΔS_{min} : ondergrens relatieve helling (%), af te lezen uit tabel 5.40;
- B : volledige rijbaanbreedte (m).

¹⁷ Waterafvoerproblemen treden niet op indien de langshelling groter is dan 1 %. De relatief grote stroomsnelheid van het water zorgt dan voor een beperking van de waterlaagdikte.

tabel 5.40 Ondergrens ΔS

Type rijbaan		ondergrens relatieve helling ($\Delta S_{\min}$)*			
		1 rijstrook	2 rijstroken	3 rijstroken	4 rijstroken
Hoofdbaan	ondergrens	n.v.t.	1,00 %	1,80 %	2,60 %
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	0,50 %	1,00 %	1,80 %	2,60 %
	90 km/u				
	70 km/u				
	50 km/u				

* Bij meer dan 4 rijstroken dient geschoven te worden met de omwentelingsas, zodat aan één zijde van de as maximaal vier rijstroken resteren.

** Wenteling in de binnenboog is niet altijd mogelijk/inpasbaar, met name rond discontinuïteiten.

De minimale lengte voor de verkantingsovergang wordt bepaald op basis van wegverloopzicht: tijdens de verkantingsovergang moet de rijbaanmarkering zichtbaar blijven. Hierbij dient onderscheid gemaakt te worden in de wentelingsas op de linkerrijstrook en de wentelingsas op de rechterrijstrook, met name bij enkelvoudige bogen. De minimale lengte voor de verkantingsovergang wordt berekend met de volgende formule:

$$L_{v_min} = 2 * \frac{i_e - i_b}{\Delta S_{\max}} * a$$

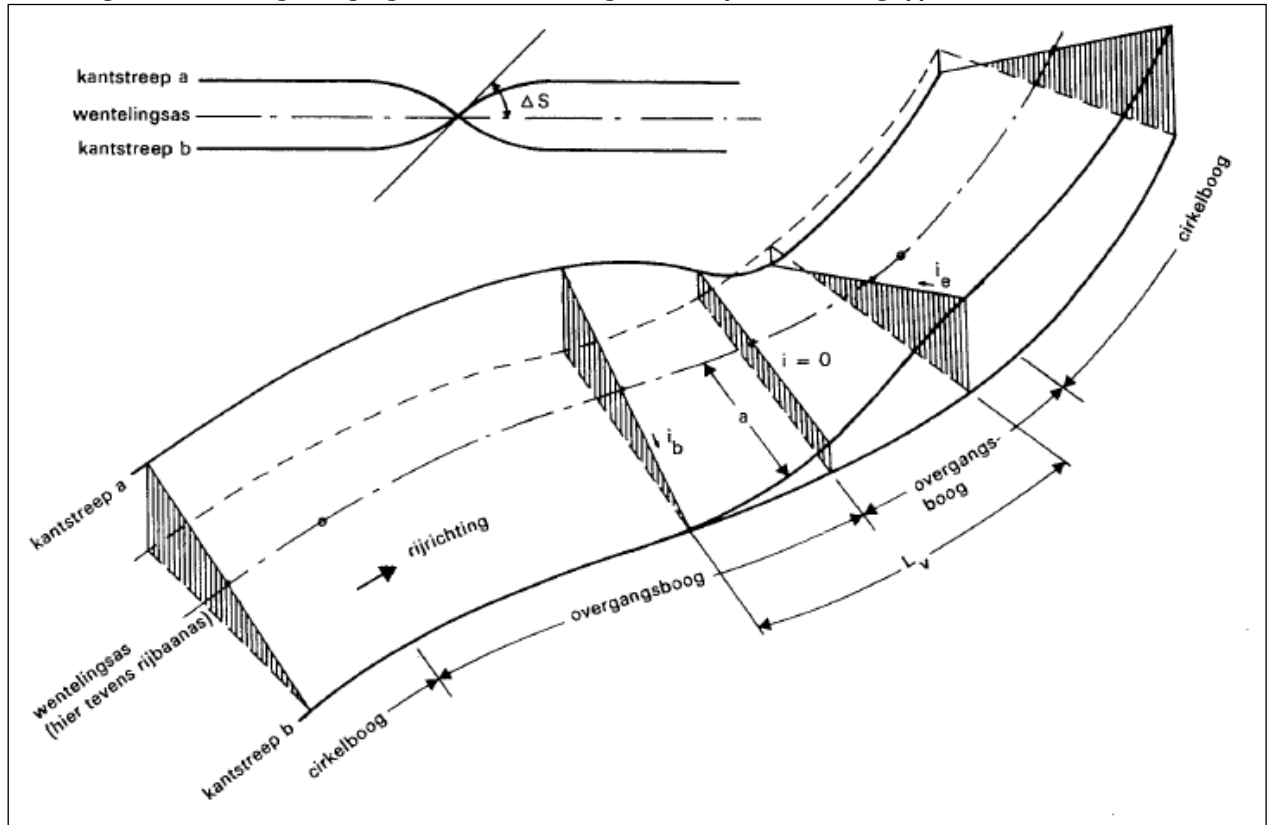
Hierin is:

- L_{v_min} : minimale verkantingslengte (m) met het oog op wegverloopzicht;
- i_e : verkanting aan het eind van de verkantingsovergang (%);
- i_b : verkanting aan het begin van de verkantingsovergang (%);
- $\Delta S_{\max}$: bovengrens relatieve helling (%), af te lezen uit tabel 5.41;
- a : afstand tussen de wentelingsas en de verst gelegen kantstreep met een maximum van 3 rijstroken (m).

tabel 5.41 Bovengrens ΔS

Type rijbaan		bovengrens relatieve helling ($\Delta S_{\max}$)
Hoofdbaan	bovengrens	1,50 %
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	1,50 %
	90 km/u	2,00 %
	70 km/u	2,50 %
	50 km/u	3,00 %

afbeelding 5.28 Verkantingsovergang met illustratie van gebruikte symbolen en begrippen



Het verdient aanbeveling de lengte van de verkantingsovergang ruimer te ontwerpen dan het vereiste minimum, zonder hierbij het maximum voor de waterafvoer te overschrijden, met name bij 3 of meer rijstroken. Dit leidt tot een fraaiere wegbeeld.

Indien een krappe boog in een verbindingsweg of afrit geaccentueerd moet worden, zal juist een kleine lengte voordelen bieden. Met een dergelijke 'geforceerd' opgebouwde overgang wordt de bestuurder immers indringend met de boog geconfronteerd, zodat deze zijn rijnsnelheid voldoende zal reduceren. Hierbij is het van belang dat de rijbaan omhoog komt (en niet wegduikt), te bereiken door de wentelingsas op de kantstreep van de binnenboog te leggen.

locatie verkantingsovergang

Een verkantingsovergang is vereist tussen twee aansluitende rijbanen met een verschillende verkanting of afschot. Verkantingsovergangen dienen zodanig geplaatst te worden, dat in de horizontale boog de benodigde verkanting volledig aanwezig is. Hiervoor wordt de overgangsboog gebruikt.

Indien de benodigde lengte voor de verkantingsovergang kleiner is dan de lengte van de overgangsboog, gelden de volgende eisen:

- indien de boog geaccentueerd moet worden, wordt de verkantingsovergang voorin de overgangsboog aangebracht;
- indien de boog niet geaccentueerd hoeft te worden, is het wegbeeld maatgevend. De verkantingsfiguur begint dan stroomafwaarts in de overgangsboog, maar zodanig dat de lengte tussen het begin van de overgangsboog en het begin van de verkantingsovergang kleiner is dan $\frac{1}{4}$ van de lengte van de overgangsboog. Bij wenteling om de kantstreep aan de binnenzijde dient hierbij aandacht uit te gaan naar het wegbeeld, omdat dan in overgangsbogen naar een rechtstand in de buitenste kantstreep een zak kan ontstaan.

Indien de benodigde lengte voor de verkantingsovergang groter is dan de lengte van de overgangsboog, gelden de volgende eisen:

- bij een aansluiting van een rechtstand op een stroomafwaartse boog, begint de verkantingsovergang voor aanvang van de overgangsboog;
- bij een aansluiting van twee tegengesteld gerichte bogen, wordt de overgangsboog verlengd (of worden de overgangsbogen verlengd).

Met een driedimensionale wegbeeldanalyse kan worden beoordeeld of er als gevolg van de verkantingsovergang geen fouten in het wegbeeld optreden.

5.5.4 Ruimtelijke helling

De ruimtelijke helling is de resultante van de langs- en de dwarshelling van de weg. De ruimtelijke helling is een gevolg en heeft zodoende geen specifieke functie (anders dan de functie van de verkanting en de langshelling).

De optredende ruimtelijke helling is te berekenen met de formule:

$$\text{Ruimtelijke helling} = \sqrt{i_1^2 + i_2^2}$$

Hierin is:

- i_1 : dwarshelling (verkanting of afschot) (%);
- i_2 : langshelling (%).

Bij de keuze van een boogstraal met bijbehorende verkanting dient overschrijding van de maximale ruimtelijke helling vermeden te worden om bij gladheid van de verharding het afglijden van voertuigen te voorkomen. Met name bij de combinatie van horizontale bogen met verticale hellingen (maar ook horizontale rechtstanden in hellingen) moet op deze relatie worden gecontroleerd.

Daarnaast dient voorkomen te worden dat er als gevolg van een te kleine ruimtelijke helling water op de rijbaan blijft staan. Dit kan met name optreden bij wentelende verkantingsovergangen.

tabel 5.42 Grenswaarden ruimtelijke helling

rijbaan	bovengrens	ondergrens
hoofdbaan	9,0 %	2,5 %
niet-hoofdbanen	9,0 %	2,5 %

De waarden voor de ondergrens van de ruimtelijke helling zijn niet van toepassing binnen verkantingsovergangen.

5.5.5 Afwatering

Indien ten gevolge van een verkantingsovergang (lokaal) niet aan het minimum afschot in het dwarsprofiel voldaan kan worden, dient de langshelling zorg te dragen voor voldoende ruimtelijke helling en daarmee voldoende waterafvoer. Met name het ontstaan van grotere waterlaagdikten (2 à 3 mm en meer) moet voorkomen worden vanwege de vermindering van het zicht dat daarbij optreedt (voornamelijk ten gevolge van spat- en sproeiwater) en vanwege de geringere wrijving tussen de band en het natte wegdek.

Onder andere de regenduur en regenintensiteit zijn bepalend voor de optredende waterlaagdikte en de lengte van de plassen op de weg. De volgende eisen liggen daarmee ten grondslag aan de vormgeving en dimensionering van de verkantingsovergang:

- maatgevende regenintensiteit: 36 mm/h (0,6 mm/minuut);

- maatgevende regenduur: 5 minuten;
- waterlaagdikte: maximaal 2 à 3 mm;
- plaslengte: maximaal circa 10 m in één van de rijsporen.

Om invulling te geven aan deze eisen zijn de volgende ontwerpaspecten van belang:

- relatieve langshelling ΔS in het verkantingsnulpunt;
- verticaal alignement;
- keuze van de wentelingsas;
- verhardingsbreedte (aantal rijstroken);
- ruimtelijke helling;
- verhardingstype;
- afwateringssysteem.

relatieve langshelling ΔS

De relatieve langshelling ΔS in het verkantingsnulpunt bepaalt de lengte van de verkantingsovergang. Het verband tussen de lengte van de verkantingsovergang en de hoeveelheid water op de verharding is lineair.

langshelling en ruimtelijke helling

Bij een toenemende langshelling (gemeten ter plaatse van de wentelingsas) neemt de omvang van de waterlagen dikker dan 2,5 mm af. Bij welk hellingspercentage deze vermindering optreedt, is afhankelijk van de situatie.

tabel 5.43 Grenswaarden ruimtelijke helling

langshelling	ruimtelijke helling	
	ingaaende overgangsboog	uitgaande overgangsboog
stijgend	$\geq +1,5 \%$	$\geq +2,0 \%$
dalend	$\leq -2,0 \%$	$\leq -1,5 \%$

In situaties met een ruimtelijke helling als in de tabel is genoemd, blijkt een aanzienlijke reductie van de waterlaagdikte op te treden. Vermeden moet worden, dat de verkantingsovergang onderaan een holle boog wordt gesitueerd.

Bij horizontale bogen met toepassing van (grotere) verkanting, wordt op eenzelfde verhardingsbreedte de relatieve langshelling van de wegas vergroot om zo de verdeling van de hoeveelheid water over de weg gelijk te houden (behoud van dezelfde stroomlijnen). Het doel hiervan is te waarborgen dat een vermindering van de hoeveelheid water op de ene locatie niet tot een grotere (te grote) waterlaagdikte op een ander locatie leidt.

keuze van de wentelingsas

Bij de keuze van de wentelingsas dient het zadelpunt altijd buiten de verharding te liggen. Het zadelpunt is het punt op een gekromd vlak dat in de ene richting (langsrichting of dwarsrichting) een maximum en in de andere een minimum heeft.

De verplaatsing van de wentelingsas is pas van invloed wanneer deze buiten de verharding wordt gekozen. Om enig resultaat te verwachten, dient de wentelingsas over grote afstanden te worden verschoven (15 m of meer). Een dergelijke verschuiving leidt in het algemeen tot praktische bezwaren bij het wegontwerp, waardoor deze optie meestal niet toepasbaar is.

verhardingsbreedte

Hoe groter de verhardingsbreedte, des te langer zal het water op de weg aanwezig zijn. Om de hoeveelheid water op de weg te beperken, zal in dat geval de stroomsnelheid moeten worden verhoogd. Dit kan door de relatieve langshelling ΔS van de wentelingsas te vergroten, waarmee de lengte van de verkantingsovergang kleiner wordt.

verhardingstype

Verhardingen met een open structuur (zoals verschillende soorten ZOAB) beperken het risico van plasvorming op de weg. Vanwege de optredende vervuiling in ZOAB die juist in weggedeelten met geringe dwarshelling optreedt, is echter niet te voorspellen in welke mate ZOAB bijdraagt aan een vermindering van de wateroverlast.

afwateringssysteem

Nadat de afwatering van de rijbaan heeft plaatsgevonden, dient het water vervolgens verder afgevoerd te worden. Bij voorkeur geschiedt deze afwatering middels berminfiltratie. Berminfiltratie zal echter niet altijd mogelijk zijn, bijvoorbeeld wanneer de rijbaan naar een niet-obstakelvrije middenberm afwatert. In dergelijke situaties dient een afwateringssysteem gerealiseerd te worden, bestaande uit goten en riolering.

In situaties waar een afwateringssysteem noodzakelijk is, dient hier bij het ontwerp van het dwarsprofiel rekening mee gehouden te worden. Voor aanvullende informatie over de relatie van het afwateringssysteem met het dwarsprofiel wordt verwezen naar Eisen hemelwaterafvoer wegen op aardenbaan (2017).

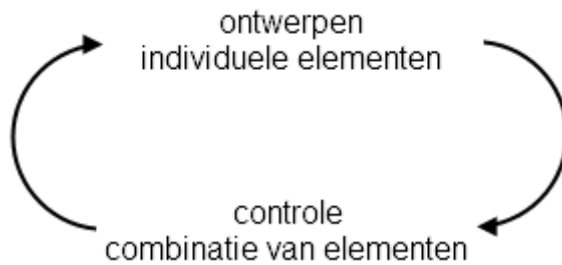
5.6

Wegbeeld

Na het ontwerpen van de verschillende individuele ontwerpcomponenten, dient het ontwerp gecontroleerd te worden op samenhang van de (gecombineerde) elementen op basis van overkoepelende randvoorwaarden. Immers, de weggebruiker herkent en anticipeert op het verloop van de weg op basis van vooral visuele waarnemingen en ervaring. Bij het bepalen van de vorm van de weg speelt daarom, naast de rijtechnische eisen, ook het wegbeeld een rol.

Eventuele gebreken aan het ontwerp worden aangepast door de maatvoering van bepaalde individuele elementen aan te passen. Na het doorvoeren van aanpassingen wordt het ontwerp dan opnieuw gecontroleerd, zie afbeelding 5.29.

afbeelding 5.29 Ontwerpproces



Een goed wegbeeld ofwel goede visuele kwaliteit betekent dat de beeldelementen goed op elkaar aansluiten. Dit komt tot uiting in een rustig wegbeeld met voldoende rijcomfort, zodat de weggebruiker voldoende tijd wordt gegeven om de beelden op te nemen en te verwerken. De visuele kwaliteit heeft betrekking op het gehele wegbeeld van de weg met omgeving. Daarnaast heeft (de visuele kwaliteit van) het wegbeeld betrekking op een tijdige waarneming en inschatting van veranderingen in het alignement zoals horizontale en verticale bogen.

Een goed wegbeeld is niet te verkrijgen door het strikt toepassen van ontwerprichtlijnen. Er moet daarom altijd worden nagegaan of het ontwerp een controle door middel van visuele wegbeeldanalyse behoeft. Een dergelijke controle op basis van een driedimensionale visualisatie van de weg is nodig wanneer op voorhand niet duidelijk is of de visuele kwaliteit voldoende is. Voor een goede visualisatie dienen in ieder geval de volgende onderdelen gevisualiseerd te worden:

- wegontwerp inclusief aankleding:
 - . rijbaan met markering;
 - . afschermingsvoorzieningen;
 - . verlichting;
 - . bewegwijzering, bebording, bebakening;
 - . DVM;
 - . geluid reducerende voorzieningen;
 - . beplanting;
- omgeving.

Gebreken die in het ontwerp kunnen optreden, zijn:

- een niet vloeiend verloop van de weg;
- misleiding in het wegbeeld;
- te druk of saai wegbeeld;
- onvoldoende waarneming en/of consistentie van horizontale bogen;
- onvoldoende zicht op verkeerssituatie stroomafwaarts.

Wegbeeldaspecten die bijzondere aandacht vragen, zijn:

- holle bogen bij grotere hoogteverschillen ($\Delta h > 3$ m);
- ruimtelijk alignement;
- waarneming, inschatting en herkenning van horizontale bogen;
- zicht op invoegend of wevend verkeer;
- zicht op een rijstrookbeëindiging.

5.6.1 *Holle bogen bij onsamenvallend wegbeeld*

Omwille van de visuele kwaliteit van het wegbeeld is zicht over de minimale zichtlengte niet altijd voldoende. Bij meerdere aaneensluitende verticale bogen heeft het de voorkeur dat de bestuurder bij het bereiken van de top van de bolle boog volledig zicht heeft op het voorliggende wegvak. Hiervoor dient bij de dimensionering van de straal van de holle boog rekening gehouden

te worden met het hoogteverschil. Bij een te kleine straal ontstaat er een knik in het wegbeeld. Met name voor hoofdbanen met een ruim horizontaal alignement is dit onwenselijk. Daarom worden aanvullende eisen gesteld aan de straal van de holle boog in hoofdbanen, op basis van het te overbruggen hoogteverschil (zie tabel 5.44).

tabel 5.44 Holle bogen hoofdbanen ter voorkoming van knik in wegbeeld

$\Delta h \leq 3,0 \text{ m}$	$\Delta h = 4,5 \text{ m}$	$\Delta h = 6,0 \text{ m}$	$\Delta h = 7,5 \text{ m}$	$\Delta h \geq 9,0 \text{ m}$
$2 * R_{bol}$	$3 * R_{bol}$	$4\frac{1}{2} * R_{bol}$	$6 * R_{bol}$	$7 * R_{bol}$

5.6.2 *Ruimtelijk alignement*

Het ruimtelijke alignement is de samenstelling van het horizontale en verticale alignement van de autosnelweg. Een harmonisch rustig wegbeeld waarbij alle beeldelementen goed op elkaar aansluiten en elkaar aanvullen, biedt de weggebruiker de mogelijkheid de beelden op te nemen en te verwerken.

Bij het gelijktijdig toepassen van ontwerpelementen dient enerzijds te worden voorkomen dat het wegbeeld saai wordt en anderzijds moet worden voorkomen dat het wegbeeld te druk wordt. Een saai wegbeeld leidt tot concentratieverlies bij de weggebruiker en een te druk wegbeeld tot vermoeiing en een verhoogde kans op verkeerde detectie en inschatting van de weg. Daarnaast moet het wegbeeld vloeiend zijn en misleiding voorkomen.

De volgende randvoorwaarden gelden met betrekking tot drukte in het wegbeeld:

- saaie wegbeelden moeten worden voorkomen door in het wegontwerp minimaal één gekromd element (horizontale boog, overgangsboog, verticale boog) toe te passen;
- drukke wegbeelden moeten worden voorkomen door in het wegontwerp het aantal gelijktijdig toe te passen ruimtelijke elementen te beperken tot maximaal drie;
- tangentialpunten van horizontale en verticale bogen in hoofdbanen vallen bij voorkeur samen.

In tabel 5.45 zijn de verschillende mogelijkheden weergegeven voor het toepassen van gecombineerde componenten uit het horizontale en het verticale alignement. In het vervolg van deze subparagraaf worden de verschillende combinaties nader toegelicht.

tabel 5.45. Toepassingen van gecombineerd horizontaal en verticaal alignement

situatie	toepasbaarheid					
	horizontale rechtstand	horizontale rechtstand	horizontale rechtstand	horizontale boog	horizontale boog	horizontale boog
	verticale rechtstand	bolle boog	holle boog	verticale rechtstand	bolle boog	holle boog
gestrekte tracégedeelten	vermijden (tenzij dwangpunten)	bruikbaar (tenzij rijstrookbeëindiging)	vermijden (tenzij onderdoorgang)	goed bruikbaar bij zeer royale bogen	goed bruikbaar	goed bruikbaar
gebogen tracégedeelten	vermijden	bruikbaar (tenzij rijstrookbeëindiging)	vermijden (tenzij onderdoorgang)	bruikbaar	goed bruikbaar	goed bruikbaar
hoofdbanen bij knooppunten en aansluitingen	vermijden (tenzij parallax)	vermijden	vermijden	bruikbaar	bruikbaar bij zeer royale bogen	goed bruikbaar bij royale horizontale bogen
toe- en afritten op verbindingswegen	bruikbaar	bruikbaar	bruikbaar	vermijden	goed bruikbaar	goed bruikbaar bij royale horizontale bogen

ruimtelijke rechtstand

De ruimtelijke rechtstand is een rechte lijn in het horizontale alignement gecombineerd met een rechte lijn zonder langshelling in het verticale alignement. De toepassing van een ruimtelijke rechtstand dient beperkt te blijven tot de volgende situaties:

- een ruimtelijke rechtstand kan noodzakelijk zijn omdat er externe dwangpunten zijn (bijvoorbeeld in de vorm van bundeling van infrastructuur);
- een ruimtelijke rechtstand kan gewenst zijn in complexe wegsituaties waarbij het gevaar van parallax aanwezig is (bijvoorbeeld bij knooppunten en aansluitingen).

Ruimtelijke rechtstanden dienen niet langer te zijn dan voor de twee voorgaande doelen noodzakelijk is, vanwege de volgende nadelen:

- bij toepassing over grote lengtes bestaat het gevaar van monotonie;
- als gevolg van de gefixeerde achtergrond en het staren in de verte kan de bestuurder sneller vermoeid raken. Hij heeft minder mogelijkheden om zijn aandacht te richten. Hij zal ook een langere prt nodig hebben;
- er is slecht zicht op verkeer stroomafwaarts, met name bij een lagere kwaliteit van de afwikkeling. Dit beperkte zicht draagt bij aan een rijgedrag met veel (te) korte volgafstanden. Stroomafwaarts gegeven waarschuwingen (remlichten) worden namelijk onvoldoende waargenomen en daarom niet goed vertaald in (een correctie van) de volgafstand. Deze situatie is te vergelijken met die bij mist of een nat wegdek, waarbij bestuurders dikwijls de snelheden niet aanpassen, omdat zij potentieel gevaar niet voldoende onderkennen. Indien een weg wordt ontworpen als een samenstel van flauwe horizontale en verticale bogen, is er geregeld zicht op de voorrijdende verkeersstroom en de waarschuwingssignalen in die stroom. Bestuurders van voertuigen in de stroom kunnen dan tijdig en meer beheerst reageren, waardoor het verkeersbeeld rustiger en dus veiliger wordt;

- bij aansluiting van andere elementen op een (lange) ruimtelijke rechtstand ontstaan knikken in het wegbeeld;
- de korte ruimtelijke rechtstand heeft als nadeel dat tussen gelijkgerichte horizontale bogen de indruk van een tegenboog wordt gewekt.

horizontale boog in verticale rechtstand

De horizontale boog in een verticale rechtstand is een combinatie van een boog in het horizontale alignement met een rechte lijn in het verticale alignement (al dan niet onder een langshelling). De horizontale boog is het basiselement van het autosnelwegontwerp. Er zijn drie klassen stralen van horizontale bogen te onderscheiden, elk met een eigen toepassingsgebied:

- zeer ruime stralen worden toegepast ter vervanging van rechte tracégedeelten;
- standaard stralen worden toegepast in gebogen tracégedeelten;
- krappe stralen buiten de hoofdbaan worden toegepast ter plaatse van knooppunten en aansluitingen.

Een horizontale boog heeft een aantal voordelen:

- bogen geven een afwisselend wegbeeld;
- een royale horizontale boog biedt een goede oriëntatie op de weg en op het verkeer op die weg;
- een (royale) horizontale boog is goed aan te sluiten op de andere ontwerpcomponenten in de lengte.

Bij afnemende stralen van de horizontale boog ontstaan de volgende nadelen:

- een horizontale boog met een straal kleiner dan 4.000 m is geen geschikte locatie voor de convergentie- en divergentiepunten van knooppunten en aansluitingen;
- bij afschermingsvoorzieningen, wanden en obstakelbeveiligers in de binnenbocht kunnen problemen ontstaan met betrekking tot benodigde zichtlengtes.

verticale boog in horizontale rechtstand

De verticale boog in een horizontale rechtstand is een combinatie van een rechte lijn in het horizontale alignement met een holle boog of een bolle boog in het verticale alignement. Deze combinatie wordt ook wel verticaal gekromde horizontale rechtstand genoemd.

Een bolle boog is toepasbaar in rechte weggedeelten. In een bolle boog in een horizontale rechtstand is het zicht op het verloop van de weg gering. De straal van de bolle boog wordt dan ook bepaald door de minimaal vereiste zichtlengte. Vanwege het beperkte zicht is bij aansluiting van een discontinuïteit (afrit of rijstrookbeëindiging) of horizontale boog op een bolle boog veel aandacht vereist tijdens het ontwerpproces.

De holle boog in een horizontale rechtstand is een ruimtelijk element waarbij het zicht op het verloop van de weg zeer goed is. Een nadeel van dit element is, dat bij toepassing van stralen kleiner dan 10.000 m een knik in het wegbeeld ontstaat. Een holle boog in een horizontale rechtstand wordt daarom alleen in onderdoorgangen toegepast. Voor het overwinnen van een hoogteverschil in andere situaties wordt een samengestelde boog toegepast.

verticale boog in horizontale boog (samengestelde boog)

De verticale boog in horizontale boog (ook wel de samengestelde boog genoemd) is de combinatie van een holle- of bolle boog met een horizontale boog. Voor een duidelijk wegbeeld dienen de lengtes van de toegepaste samengestelde horizontale en de verticale boog gelijk te zijn.

Het toepassen van een bolle boog in een horizontale boog is mogelijk wanneer de eisen voor de zichtlengte dit toelaten. Als de horizontale boog samenvalt met de bolle boog, wordt de horizontale boog doorgaans krupper ingeschat dan deze in werkelijkheid is. Tegengesteld draaiende horizontale bogen kunnen niet op de bolle boog worden aangesloten.

De holle boog in een horizontale boog geeft goed zicht op zowel het verloop van de weg als het verkeersbeeld. Als een horizontale boog samenvalt met de holle boog, wordt de horizontale boog ruimer ingeschat dan deze in werkelijkheid is, vooral bij toepassing van krappe horizontale bogen. Nadeel is dat een te ruim ingeschatte horizontale boog een te hoge snelheid kan uitlokken en tot onveilige situaties leidt. Om de negatieve gevolgen van de te ruime inschatting van de horizontale boog tegen te gaan, dient de straal van de holle boog ten minste vijfmaal zo groot te zijn als die van de horizontale boog. Wanneer de straal van de holle boog kleiner is dan vijf maal de straal van de horizontale boog, overheerst de holle boog in het wegbeeld. Indien deze verhouding van boogstralen niet haalbaar is, is perspectivisch onderzoek van het wegbeeld ter plaatste noodzakelijk. Bij afritten met een dergelijk samengesteld alignement wordt om misleiding te voorkomen een zo kort mogelijke clothoïde toegepast.

Andere ontwerpcomponenten laten zich goed aansluiten op de combinatie van een holle boog in een horizontale boog. Indien in knooppunten en aansluitingen een holle boog nodig is, zal niet dit element maar de aansluitende vlakke horizontale boog het beeld van de bocht moeten bepalen (de holle boog moet dus zo groot mogelijk gekozen worden om niet misleidend te zijn). Deze vlakke horizontale boog levert minder inschattingsproblemen op.

5.6.3 *Fouten in het ruimtelijk alignement*

Door na het ontwerpen van de individuele elementen niet op de samenhang van de gecombineerde elementen te controleren, kunnen fouten in het wegbeeld ontstaan:

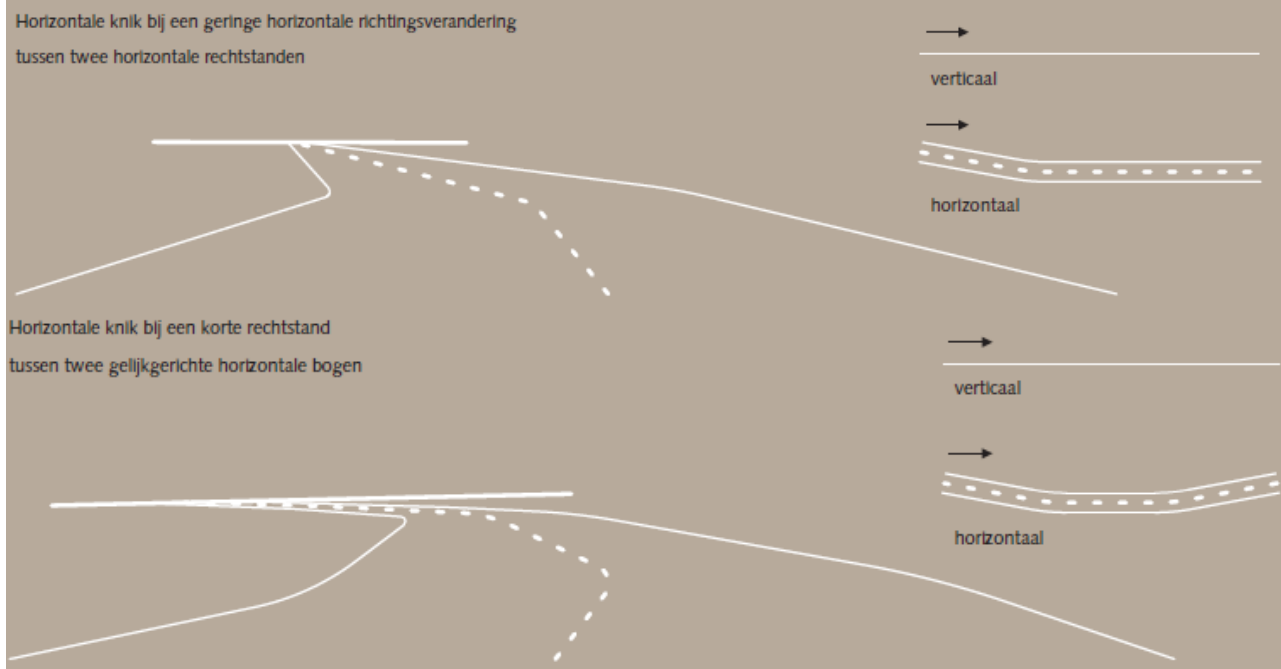
- geen vloeiend verloop van de weg, veroorzaakt door foute keuzes in het ruimtelijke alignement:
 - . horizontale knik;
 - . verticale knik;
 - . horizontale S-vorm;
 - . verticale S-vorm;
 - . dubbele horizontale S-vorm;
 - . dubbele verticale S-vorm;
- misleiding in het wegbeeld, veroorzaakt door ongelukkige combinaties van individuele ontwerpcomponenten en betrekking hebbend op zowel de grootte van een richtingsverandering als de aard ervan, waardoor rijgedrag kan ontstaan dat niet overeenkomt met wat de weg toelaat:
 - . overschatting van horizontale bogen in bolle bogen;
 - . onderschatting van horizontale bogen in holle bogen;
 - . parallax;
 - . verwarring over de richtingsverandering.

horizontale knik

Een horizontale knik ontstaat bij een geringe horizontale richtingsverandering tussen twee horizontale rechtstanden (minder dan 6 graden) of een korte horizontale rechtstand tussen twee gelijkgerichte horizontale bogen.

De vervanging van een korte horizontale rechtstand tussen twee gelijkgerichte horizontale bogen door een horizontale boog geeft een fraaier beeld.

afbeelding 5.30 Horizontale knik



verticale knik

Een verticale knik ontstaat bij de nadering van een verticale holle boog vanuit een horizontale rechtstand of een zeer flauwe horizontale boog. Deze verdwijnt pas bij toepassing van zeer grote stralen voor de holle boog (minimaal 30.000 m bij een ontwerpsnelheid van 120 km/u). De knik in het wegbeeld wordt verminderd als hij in een horizontale boog is gelegen. Ook het toepassen van een geringe verticale rechtstand vóór de verticale boog kan de knik verminderen.

afbeelding 5.31 Verticale knik

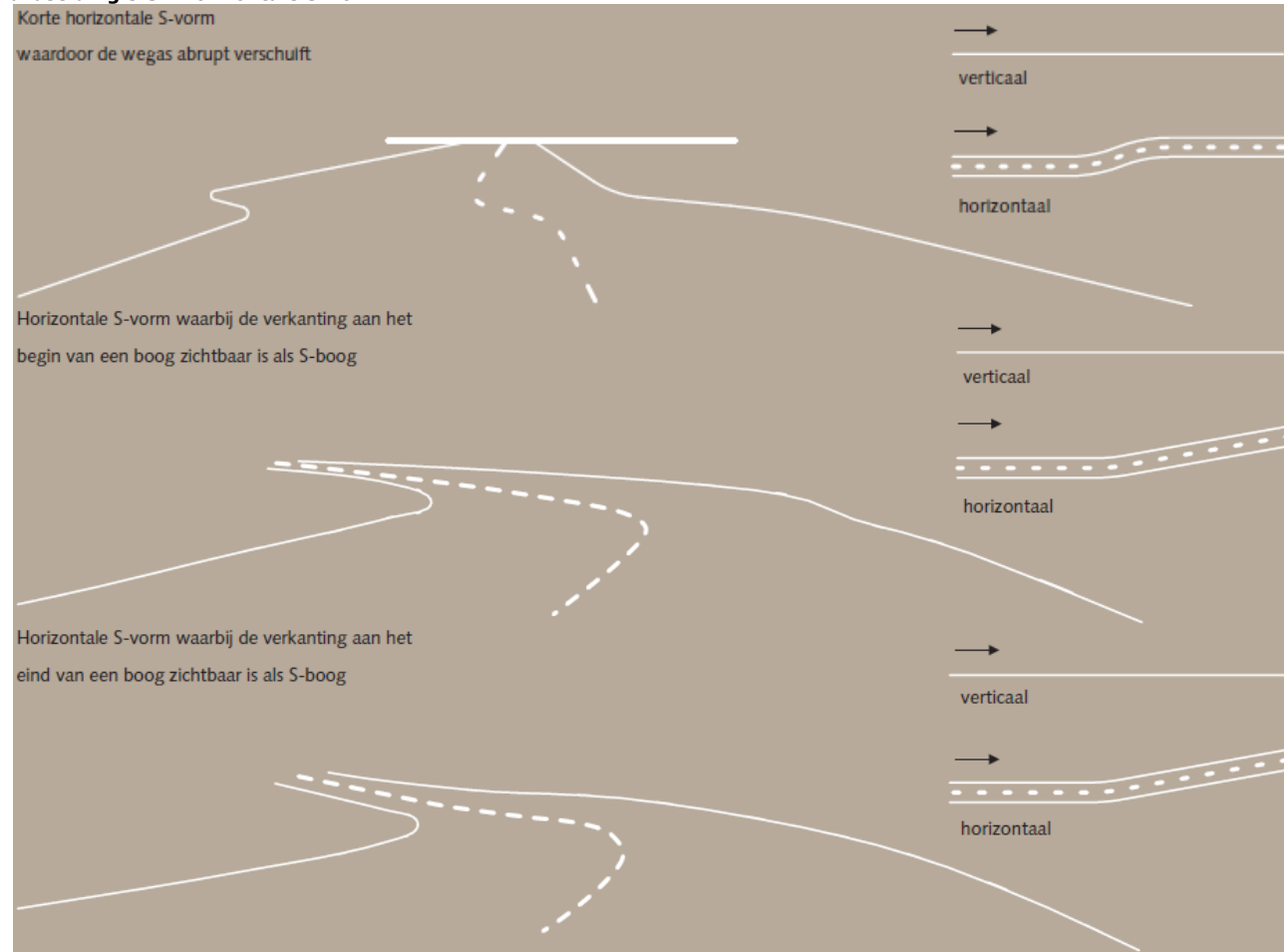


horizontale S-vorm

Bij een horizontale verschuiving van de as van een rijbaan worden de stralen zo ruim mogelijk gekozen. Een verschuiving over een betrekkelijk geringe lengte geeft een ongeloofwaardig beeld. De verschuiving moet verwerkt worden in een zwak gebogen tracé. Indien dit niet mogelijk is, dienen 2 korte horizontale bogen met ruime stralen gecombineerd te worden. De minimale boogstraal die hierbij aangehouden dient te worden, komt overeen met de boogstraal die wordt toegepast bij tegenverkanting ($R = 4.000$ m bij 120 km/u), zie paragraaf 5.2.2. Bij twijfel over het wegbeeld moet hier een visualisatie gemaakt worden om te controleren of de S-vorm goed in het wegbeeld is ingepast en geen misleiding oplevert.

Ook een verkantingsovergang kan storend zichtbaar zijn in de vorm van een horizontale S-boog, optredend wanneer de verkantingsovergang direct aan het begin van de overgangsboog wordt gesitueerd. Indien de verkantingsovergang is vormgegeven met twee aansluitende tegengesteld gerichte verticale S-bogen, wordt een eventueel optredende tegenboog verzacht. Bij verhoudingsgewijs kleine stralen kan dit wel een bezwaar geven vanuit voertuigdynamica.

afbeelding 5.32 Horizontale S-vorm



verticale S-vorm

Verhogingen of verlagingen rond ooghoogte of iets lager kunnen korte verticale S-vormen veroorzaken, waarbij de holle boog niet domineert. Een verticale rechtstand met een helling van circa 0,5 % blijkt storend te zijn in het wegbeeld; pas bij 0,1 à 0,2 % valt deze niet meer op. Een zo flauw mogelijke verticale rechtstand wordt gerealiseerd door een verticale rechtstand in combinatie met kleine onder- en bovenaf rondingen. Desondanks mag de langshelling niet groter zijn dan de helft van de maximale helling die wordt bereikt wanneer een holle en een bolle boog in elkaar overgaan (overgangspunt hol-bol).

afbeelding 5.33 Verticale S-vorm met langshelling $\geq 0,5$ %



dubbele horizontale S-vorm

Een geringe zijwaartse verschuiving die binnen de zichtlengte weer hersteld wordt, geeft op betrekkelijk rechte gedeelten een storend beeld, ook al worden voor de verschuiving ruime stralen toegepast. Daarom moet een dergelijke korte zijwaartse verschuiving worden opgenomen in één duidelijk gebogen gedeelte, bijvoorbeeld door een aaneenschakeling van bogen.

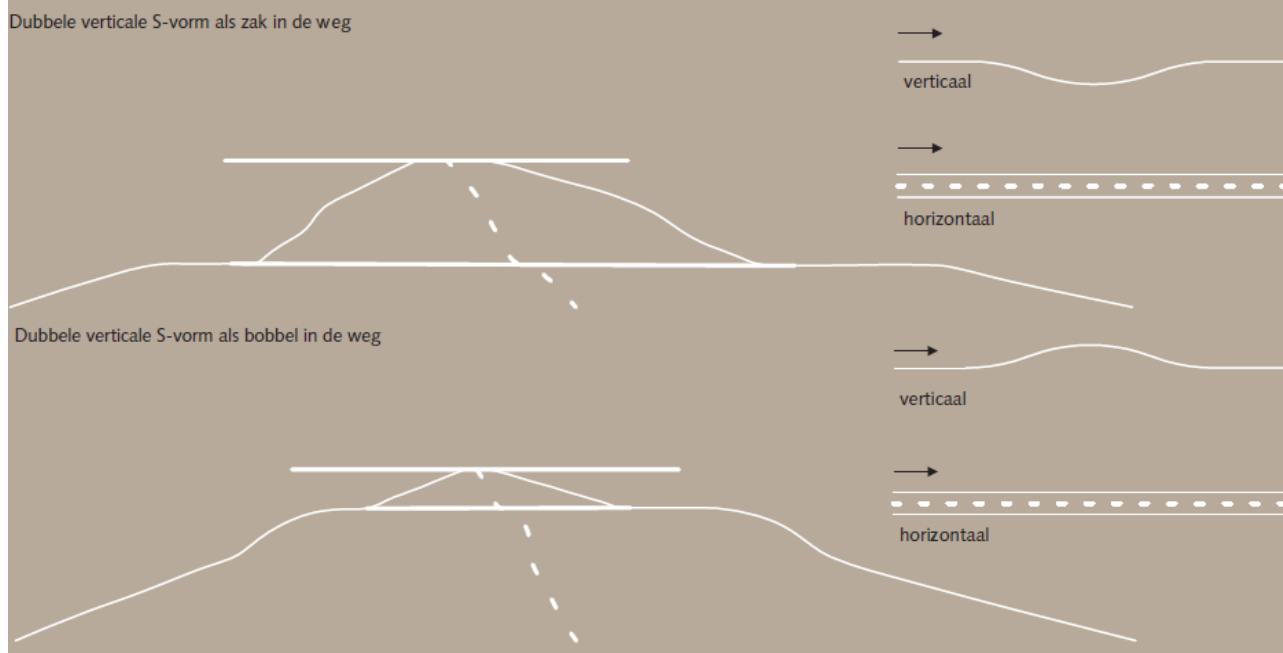
afbeelding 5.34 Dubbele horizontale S-vorm



dubbele verticale S-vorm

Een kuilvormige plaatselijke verlaging van geringe diepte ($\leq 1,5$ m) is alleen onder een viaduct toe te passen. Een plaatselijke verlaging van meer dan 1,5 m vraagt om toepassing van één grote holle boog, om een geknikt beeld te voorkomen. Vergroting van de straal van de bogen verbetert het beeld niet. Een plaatselijke verlaging wordt bij voorkeur vermeden. Een terras (twee niveauverschillen achter elkaar) is eveneens geen acceptabele oplossing. Een plaatselijke verhoging levert tot 1,5 meter een hobbel op in het wegbeeld, die een plaatselijke versmalling kan suggereren. Met name gelegen in horizontale stralen levert dit een knik in het wegbeeld op. Dit valt te compenseren door het toepassen van zeer ruime verticale bogen.

afbeelding 5.35 Dubbele verticale S-vorm



onderschatting van de horizontale boog

Als de horizontale boog samenvalt met een bolle boog, schat een bestuurder hem krapper in dan hij in werkelijkheid is. Een krap geschatte horizontale boog blijkt in de praktijk veiliger te zijn dan de horizontale boog in een vlak lengteprofiel, en kan daarom zonder bezwaren worden toegepast.

overschatting van de horizontale boog

Een voertuigbestuurder schat de horizontale bocht ruimer in dan deze in werkelijkheid is, wanneer de horizontale boog samenvalt met een holle boog. In een dergelijk geval verdient het aanbeveling de straal van de holle boog ten minste vijf à tien maal zo groot te kiezen als die van de horizontale boog (zie ook paragraaf 5.6.2: verticale boog in horizontale boog). Wanneer de verticale boogstraal kleiner is dan vijf keer de waarde van de horizontale boogstraal, overheerst in het wegbeeld de holle boog. In de praktijk blijkt dat een te ruim ingeschatte horizontale boog onveiliger is dan een horizontale boog in een vlak lengteprofiel.

parallax

Wanneer voorbij het punt waar een horizontale boog eindigt elementen zichtbaar zijn die bij een parallel lopende rijbaan horen (verlichting, bewegwijzering, enzovoorts.), kan de bestuurder die opvatten als behorend tot zijn eigen rijbaan. Indien er geen zicht is op het vervolg van de eigen rijbaan, terwijl er wel zicht is op een 'vreemde' rijbaan in het verlengde van de eigen rijbaan, zal de bestuurder die 'vreemde' rijbaan als het vervolg van zijn eigen baan opvatten. Een bocht wordt dan mogelijk te ruim geschat of er wordt een verkeerde richting van de bocht gesuggereerd.

Evenzo kunnen geleidende elementen als vegetatie, geluidsschermen of bomrijen die een horizontale rechtstand volgen terwijl de weg een bocht volgt, een bestuurder misleiden. Dit kan ook gebeuren als een spoorweg met verticale elementen erlangs het alignement van de weg volgt, maar de weg en het spoor op een gegeven moment uit elkaar gaan.

Parallax moet altijd worden voorkomen. Met een driedimensionale wegbeeldanalyse is na te gaan of en waardoor er parallax optreedt. Middels aanvullende geleidingselementen (zie ook hoofdstuk 7) kan de eigen rijbaan beter geaccentueerd worden, waardoor misleiding wordt voorkomen.

verwarring over de richtingsverandering

Verwarring over (de aard van) een richtingsverandering kan ontstaan wanneer:

- de verkantingsovergang in het begin van een overgangsboog is gesitueerd. Dit kan de indruk van een tegenboog(je) geven (en daarmee een horizontale S-boog). Wanneer het verdere verloop van de weg op dat moment afgeschermd wordt door bijvoorbeeld een kunstwerk of beplanting, kan in uitzonderingsgevallen verwarring ontstaan over de aard van de werkelijke richtingsverandering van de weg. De weggebruiker wordt dan misleid wat betreft het werkelijke boogverloop. Dit moet voorkomen worden met een overgangsboog van voldoende lengte, waarin de verkantingsovergang bij voorkeur aan het einde van de overgangsboog wordt gesitueerd;
- de tangentialpunten van een horizontale en een verticale boog niet samenvallen. Hierdoor kan de indruk van een tegenboog ontstaan. Indien het onvermijdelijk is om een verheffing of verlaging te laten samenvallen met het tangentialpunt van de horizontale boog of op enige afstand van het tangentialpunt van een horizontale boog te beginnen, dan moet het beeld van een tegenboog worden voorkomen. Voor de voetafronding moet dan een aanmerkelijk grotere straal gekozen worden (ter grootte van minimaal vijfmaal de horizontale boogstraal), of er dient een verticale rechtstand met een helling van maximaal 0,2 % te worden toegepast;
- een afrit gesitueerd is in een links draaiende bocht, vooral wanneer bij duisternis en/of een nat wegdek de lengtemarkering slecht zichtbaar¹⁸ is. Een verwarrend wegbeeld is te vermijden door de afrit een sterk gebogen tracé te geven en het met een wit vlak gevulde puntstuk een grote hoek te geven.

¹⁸ Slecht zichtbare markering zelf kan worden voorkomen door het toevoegen van wegdekreflectoren of door Type II markering aan te brengen.

6 Discontinuiteit

Een discontinuïteit in het wegontwerp is een overgang tussen twee verschillende wegvakken. Dit kan voorkomen waar rijbanen samenkomen of uit elkaar gaan en bij vermeerdering of vermindering van het aantal rijstroken. In beide gevallen wordt gesproken over convergentie of divergentie.

Bij het convergeren en divergeren van verkeersstromen ontstaan conflicten tussen deze verkeersstromen. Discontinuiteiten worden daarom zodanig vormgegeven dat de gevolgen voor de doorstroming en de verkeersveiligheid beperkt blijven.

De volgende discontinuiteiten zijn te onderscheiden:

- invoeging (convergentie);
- uitvoeging (divergentie);
- weefvak (convergentie en divergentie);
- samenvoeging (convergentie);
- splitsing (divergentie);
- strookbeëindiging (convergentie);
- extra rijstrook (divergentie).

De dimensionering van discontinuiteiten is gebaseerd op algemene eigenschappen van voertuigen en verkeersstromen. Aan de hand van deze eigenschappen zijn de volgende ontwerpparameters te onderscheiden:

- acceleratielengte;
- deceleratielengte;
- puntstuk;
- gaping;
- turbulentieafstand;
- bewegwijzeringsafstand.

Het uitgangspunt is dat wanneer discontinuiteiten worden ontworpen volgens de in dit hoofdstuk beschreven richtlijnen, er een verkeersveilig ontwerp verkregen wordt.

In de volgende paragrafen is eerst een algemene verklarende beschrijving gegeven van de bovenstaande ontwerpparameters. Vervolgens zijn de richtlijnen voor dimensionering van de verschillende discontinuiteiten beschreven en toegelicht. De keuze voor de oplossingsvorm op basis van intensiteit en capaciteit staat beschreven in paragraaf 4.6.

6.1 Algemene ontwerpparameters discontinuiteiten

6.1.1 *Acceleratielengte*

De acceleratielengte is de afstand die nodig is om de snelheid van een voertuig op comfortabele wijze te verhogen tot een gewenst niveau. Accelereren vindt plaats op de toeleidende rijbaan en de invoegstrook, voorafgaand aan het oprijden van de doorgaande rijbaan. De toeleidende rijbaan en de invoegstrook moeten daarom zodanig worden ontworpen, dat accelereren op de doorgaande rijbaan niet nodig is.

Bij het eindpunt van accelereren moet een voertuig 75 % van de ontwerpsnelheid van de doorgaande rijbaan bereikt kunnen hebben, om zo verstoringen in de doorgaande verkeersstroom te minimaliseren.

De benodigde acceleratielengte is afhankelijk van de volgende factoren:

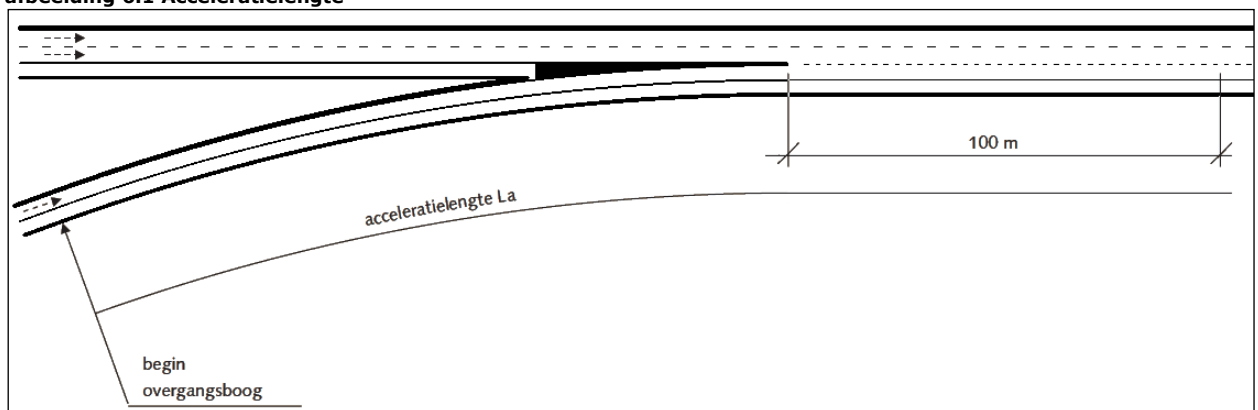
- snelheid van voertuigen op de doorgaande baan;
- snelheid van het voertuig aan het begin van de acceleratielengte;
- versnelling van het accelererende voertuig;
- gemiddeld hellingspercentage van de toeleidende rijbaan.

situering acceleratielengte

Bij een invoegende beweging wordt ervan uitgegaan dat de invoegstrook niet volledig voor acceleratie wordt benut door personenauto's. Er moet daarom voldoende acceleratielengte worden verwerkt in de toeleidende rijbaan, zie . Indien uit de berekening een grotere acceleratielengte nodig blijkt, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van een opgaande helling, dient deze gerealiseerd te worden door middel van verlenging van het acceleratiegedeelte van de toeleidende rijbaan, en niet door middel van een langere invoegstrook. Op deze wijze is de verlenging ook effectief voor verkeer dat meteen na het einde van het puntstuk de doorgaande rijbaan oprijdt.

Het beginpunt van accelereren is het punt waar de horizontale boog in de toeleidende rijbaan overgaat in de overgangsboog, of – bij afwezigheid van een overgangsboog – het punt vanaf waar er vrij naar 120 km/u kan worden geaccelereerd. Het eindpunt van accelereren ligt 100 m stroomafwaarts van de spitse punt van het puntstuk. Het verlengen van de dubbel doorgetrokken streep is daarom niet doelmatig in het vergroten van de acceleratielengte; hiervoor moet de spitse punt van het puntstuk worden verschoven en/of de overgangsboog worden verlengd.

afbeelding 6.1 Acceleratielengte



Met name bij lusvormige (stijgende) toeleidende rijbanen dient extra aandacht besteed te worden aan de acceleratielengte, omdat de snelheid bij de start van accelereren hier laag ligt. De maatgevende snelheid is afhankelijk van de combinatie horizontale boogstraal en de verkanting. Deze snelheid is af te lezen uit afbeelding 5.8 in paragraaf 5.2.2.

Bij zeer gestrekte toeritten wordt de acceleratielengte berekend vanaf het kruispunt met het onderliggend wegennet. De startsnelheid is dan 20 km/u.

berekening acceleratielengte

In standaard situaties wordt uitgegaan van een lineaire acceleratie (constante versnelling).

Daarnaast wordt aangenomen dat er geen afzonderlijke berekening voor vrachtverkeer nodig is.

De acceleratielengte wordt berekend met de volgende formule:

$$L_a = \frac{(0,75 * v_0)^2 - v_b^2}{256 * \left(\frac{a}{g} - \frac{p}{100} \right)}$$

Hierin is:

- L_a : acceleratielengte (m);
- v_0 : ontwerpsnelheid van de doorgaande baan (km/u), waarbij voor hoofdbanen met 120 km/u gerekend wordt;
- v_b : ontwerpsnelheid aan het begin van de acceleratielengte (km/u);
- a : acceleratie van het voertuig (1,0 m/s²);
- g : zwaartekrachtversnelling (9,8 m/s²);
- p : gemiddeld hellingspercentage van de weg (in %), positief bij stijging.

tabel 6.1 Acceleratielengtes bij verschillend hellingspercentage

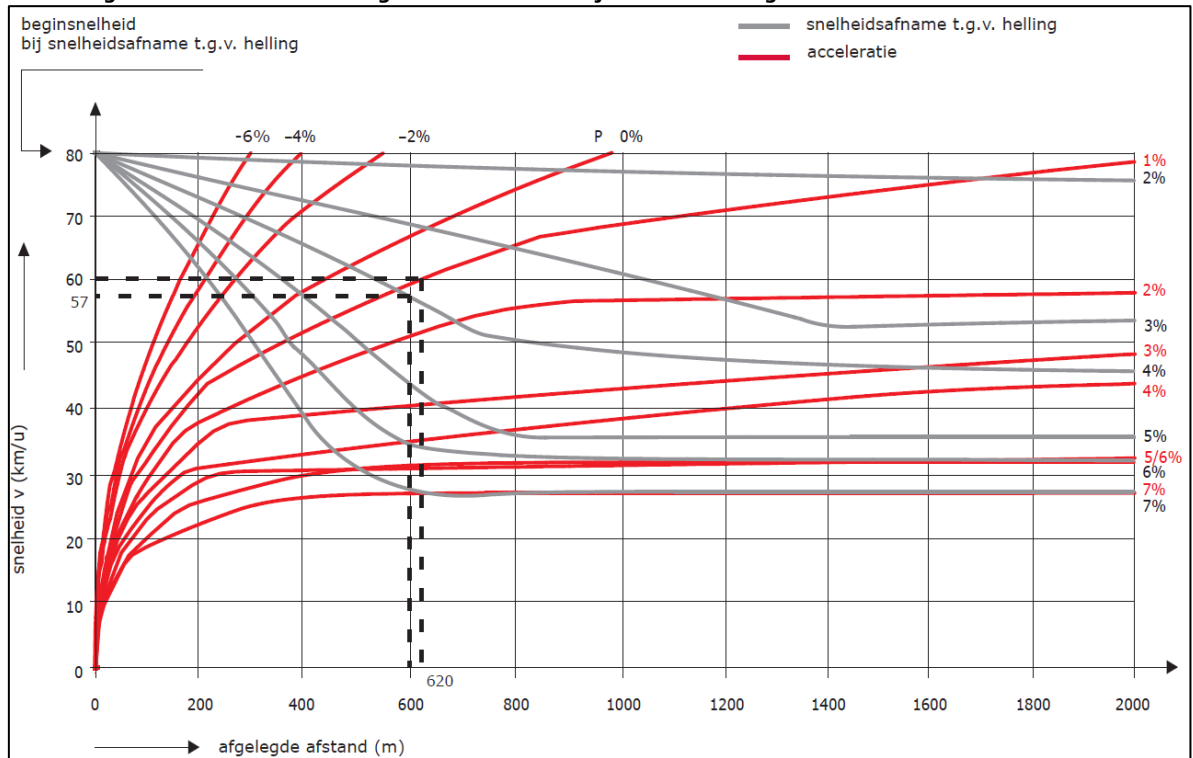
ontwerpsnelheid		acceleratielengte bij verschillend hellingspercentage (afgerond)								
doorgaand	toeleidend	- 4 %	- 3 %	- 2 %	- 1 %	0 %	1 %	2 %	3 %	4 %
120 km/u	90 km/u	n.v.t.								
120 km/u	70 km/u	90 m	95 m	105 m	115 m	125 m	140 m	155 m	175 m	205 m
120 km/u	50 km/u	155 m	165 m	180 m	195 m	215 m	240 m	270 m	305 m	355 m
90 km/u	70 km/u	n.v.t.								
90 km/u	50 km/u	60 m	65 m	70 m	75 m	80 m	90 m	100 m	115 m	130 m
70 km/u	50 km/u	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	15 m	15 m	15 m	20 m

acceleratielengte bij groot aandeel vrachtverkeer

Indien er sprake is van meer dan 5 % zwaar vrachtverkeer (gelede vrachtauto's (> 12,20 m)) bij een maatgevende uurintensiteit en meer dan 50 zware vrachtwagens per uur, dient de acceleratielengte voor vrachtverkeer afgeleid te worden. Voor vrachtverkeer kan niet worden gerekend met een constante versnelling. Het bepalen van de benodigde acceleratielengte voor zwaar vrachtverkeer gebeurt daarom grafisch op basis van afbeelding 6.2. Voor het bepalen van de acceleratielengte voor dit vrachtverkeer op hellingen kan eventueel ook het softwarepakket SimVra+ worden gebruikt.

Voor zwaar vrachtverkeer mag de volledige lengte (exclusief wigvormig gedeelte) van de invoegstrook worden meegerekend voor acceleratie naar 75% van de maximum snelheid voor vrachtverkeer. Bij weefvakken geldt dat op 250 meter na het puntstuk deze snelheid bereikt dient te zijn.

afbeelding 6.2 Snelheidsveranderingen vrachtverkeer bij verticale hellingen



Voorbeeld 1: Berekening snelheidsterugval bij helling

Helling $P=4\%$, $l=600$ m, $V_{\text{begin}}=80$ km/u

V_{eind} volgt uit de grafiek; 63 km/u

Voorbeeld 2: Berekening acceleratielengte

Helling $P=1\%$, $V_{\text{begin}} = 0$ km/u, $V_{\text{eind}} =$ invoegsnelheid = 60 km/u

Afgelegde afstand volgt uit grafiek = 560 m

aandachtspunt

- de toeleidende rijbaan heeft tussen de laatste overgangsboog en het puntstuk dezelfde horizontale straal als de doorgaande rijbaan.

6.1.2

Deceleratielengte

De deceleratielengte is de afstand die nodig is om de snelheid van een voertuig te verlagen tot een zodanig niveau, dat het direct stroomafwaarts gelegen wegvak verkeersveilig bereden kan worden.

Decelereren gebeurt op de uitrijstrook en de afbuigende rijbaan na het verlaten van de doorgaande verkeersbaan. De aanwezige deceleratielengte moet zodanig zijn, dat geen deceleratie noodzakelijk is op de doorgaande rijbaan. De lengte van een afrit dient zodanig te zijn dat voertuigen vanaf de uitvoeging van de autosnelweg tot aan de eerste boog van de afrit of de wachtrij voor het kruispunt met het onderliggende wegennet voldoende lengte tot hun beschikking krijgen om te decelereren.

De benodigde deceleratielengte is afhankelijk van de volgende factoren:

- ontwerpsnelheid van de doorgaande rijbaan;
- ontwerpsnelheid van de afbuigende rijbaan;
- vertraging van het decelererende voertuig;
- gemiddeld hellingspercentage van de afbuigende rijbaan.

situering deceleratielengte

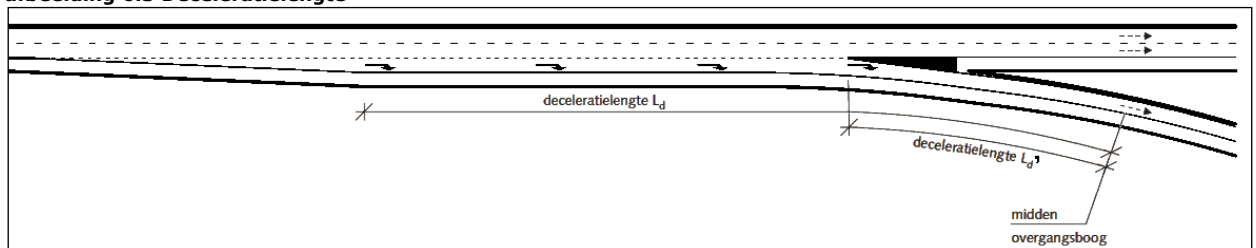
Er dient voor twee scenario's voldoende deceleratielengte aanwezig te zijn:

1. een voertuig voegt tijdig uit naar de uitrijstrook en benut deze en eventueel het eerste deel van de afbuigende rijbaan voor een comfortabele deceleratie (L_d);
2. een voertuig voegt op het laatste moment uit, vlak voor het puntstuk, benut de uitrijstrook niet voor deceleratie maar decelereert met een forse vertraging op het eerste deel van de afbuigende rijbaan (L_d').

Voor de situering van de deceleratielengte gelden de volgende uitgangspunten:

- het begin van de deceleratielengte in het eerste scenario (L_d), bij toepassing van een parallel aanliggende strook, is het punt waar de strook op breedte is, zie afbeelding 6.3;
- het begin van de deceleratielengte in het tweede scenario (L_d'), is het puntstuk, zie afbeelding 6.3. Bij een taperuitvoeging is de deceleratielengte L_d' maatgevend;
- het einde van de deceleratielengte is het midden van de overgangsboog van de afbuigende baan;
- bij zeer gestrekte afritten wordt de deceleratielengte berekend tot het einde van de verwachte wachtrij. De snelheid is hier 0 km/u. Bij zwaar belaste afritten moet de toets of het mogelijk is te decelereren naar de staart van de wachtrij altijd worden uitgevoerd, ook als de ligging niet gestrekt is.

afbeelding 6.3 Deceleratielengte



berekening deceleratielengte

De benodigde deceleratielengte wordt berekend voor beide scenario's. Beide scenario's moeten in het ontwerp passen. De feitelijke verschillen tussen de twee scenario's zijn:

- remvertraging: circa $1,5 \text{ m/s}^2$ (scenario 1: comfortabel, gas loslaten) en $2,5 \text{ m/s}^2$ (scenario 2: hard, rekening houdend met nat wegdek);
- start van de beschikbare deceleratielengte (zie afbeelding 6.3).

De snelheid aan het begin van de deceleratielengte is gelijk aan de ontwerpsnelheid van de doorgaande rijbaan. Ook bij berekening van de lengte van de linker rijstrook van de taperuitvoeging wordt uitgegaan van de volledige ontwerpsnelheid.

De benodigde deceleratielengte wordt voor beide scenario's berekend met de onderstaande formule:

$$L_d = \frac{V_0^2 - V_a^2}{256 * \left(\frac{d}{g} + \frac{p}{100} \right)}$$

Hierin is:

- L_d : deceleratielengte (m);
- V_0 : ontwerpsnelheid van de doorgaande rijbaan (km/u), waarbij voor hoofdbanen met 120 km/u gerekend wordt;
- V_a : ontwerpsnelheid van de afbuigende rijbaan (km/u);
- d : vertraging van het voertuig (comfortabel, gas loslaten: 1,5 m/s², hard: 2,5 m/s²);
- g : zwaartekrachtversnelling (9,8 m/s²);
- p : gemiddeld hellingspercentage van de weg (in %), positief bij stijging.

tabel 6.2 Deceleratielengte L_d bij verschillend hellingspercentage (scenario 1)

ontwerpsnelheid		deceleratielengte bij verschillend hellingspercentage (afgerond)								
doorgaand	afbuigend	- 4 %	- 3 %	- 2 %	- 1 %	0 %	1 %	2 %	3 %	4 %
120 km/u	90 km/u	220 m	200 m	185 m	175 m	165 m	155 m	145 m	135 m	130 m
120 km/u	70 km/u	330 m	305 m	280 m	260 m	245 m	230 m	215 m	205 m	195 m
120 km/u	50 km/u	415 m	380 m	350 m	325 m	305 m	285 m	270 m	255 m	245 m
90 km/u	70 km/u	110 m	105 m	95 m	90 m	85 m	80 m	75 m	70 m	65 m
90 km/u	50 km/u	195 m	180 m	165 m	145 m	145 m	135 m	130 m	120 m	115 m
70 km/u	50 km/u	85 m	80 m	70 m	65 m	65 m	60 m	55 m	55 m	50 m

tabel 6.3 Deceleratielengte L_d' bij verschillend hellingspercentage (scenario 2)

ontwerpsnelheid		deceleratielengte bij verschillend hellingspercentage (afgerond)								
doorgaand	afbuigend	- 4 %	- 3 %	- 2 %	- 1 %	0 %	1 %	2 %	3 %	4 %
120 km/u	90 km/u	115 m	110 m	105 m	100 m	100 m	95 m	90 m	90 m	85 m
120 km/u	70 km/u	175 m	165 m	160 m	155 m	145 m	140 m	135 m	130 m	125 m
120 km/u	50 km/u	220 m	210 m	200 m	190 m	185 m	175 m	170 m	165 m	160 m
90 km/u	70 km/u	60 m	55 m	55 m	50 m	50 m	50 m	45 m	45 m	45 m
90 km/u	50 km/u	105 m	100 m	95 m	90 m	85 m	85 m	80 m	80 m	75 m
70 km/u	50 km/u	45 m	45 m	40 m	40 m	40 m	35 m	35 m	35 m	35 m

aandachtspunten

- Een belangrijk aandachtspunt voor een rijbaan waarop deceleratie plaats vindt, is de afwatering. Plasvorming op de rijbaan heeft immers een sterke negatieve invloed op de vertraging van een voertuig;
- het decelereren en de stapsgewijze afbouw van de ontwerpsnelheid moeten in het wegbeeld herkenbaar (te zien) zijn;
- om het duidelijk te laten zijn dat weggebruikers kunnen decelereren op het eerste deel van de afbuigende rijbaan, dient deze een minimale horizontale straal gelijk aan de straal op de doorgaande rijbaan te hebben.

6.1.3

Puntstuk

Een puntstuk is een wegmarkering ter aanduiding van een convergentiepunt of divergentiepunt, uitgevoerd als wit vlak.

Bij het invoegen, samenvoegen, uitvoegen en splitsen is het convergentie- dan wel divergentiepunt vormgegeven als een puntstuk. Het puntstuk moet redresseermogelijkheden bieden, wat wil zeggen dat bestuurders het puntstuk bij een noodzakelijke koerscorrectie veilig moeten kunnen overrijden. Daarom wordt het op gelijke hoogte met de aanliggende rijbanen gerealiseerd.

Wanneer een puntstuk van een convergerende discontinuïteit en een puntstuk van een divergerende discontinuïteit dicht bij elkaar liggen mag er geen sprake zijn van een aaneengesloten verharding van de drie rijbanen om te voorkomen dat er over de puntstukken wordt gereden om oneigenlijk van rijbaan te wisselen.

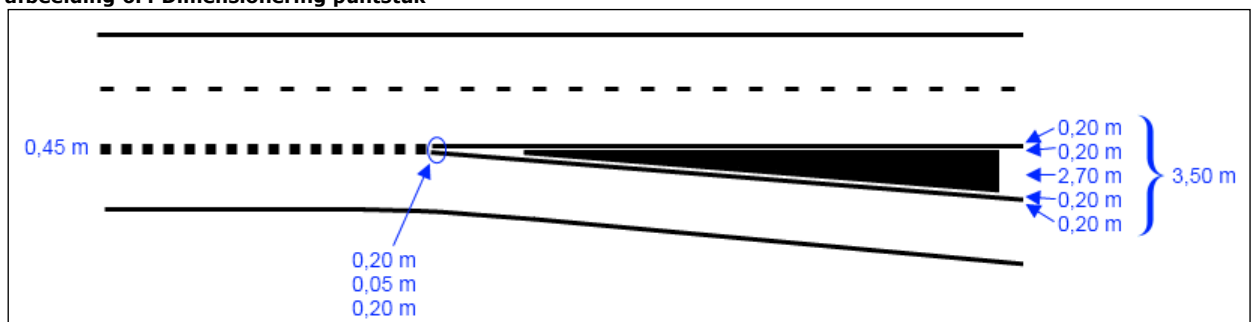
De ligging van het puntstuk ten opzichte van andere markeringselementen wordt beschreven in de Richtlijnen voor de bebakening en markering van wegen.

Een puntstuk heeft dezelfde dwarshelling als de aanliggende (linkse) doorgaande rijbaan, zodat er geen (of zeer beperkt tot maximaal 7 cm) hoogteverschil in het puntstuk zit. Een eventuele (verdere) overgang van de verkanting vindt plaats:

- bij een toeleidende rijbaan: stroomopwaarts van het punt waarop de verharding van de toeleidende rijbaan samenkomt met de verharding van de doorgaande rijbaan;
- bij een afbuigende rijbaan: stroomafwaarts van het punt waarop de verharding van de afbuigende rijbaan los is van de verharding van de doorgaande rijbaan.

Het puntstuk heeft een verlopende breedte tot het maximum van 2,70 m. De 2,70 m is een afgeleide van de rijstrookbreedte: aan beide zijden van het puntstuk is een kantmarkering en een tussenruimte met de breedte van de kantmarkering aanwezig (zie afbeelding 6.4). Deze breedte bepaalt samen met de hoek tussen de rijbanen de vormgeving van het puntstuk. De hoek tussen de rijbanen is afhankelijk van het type discontinuïteit, zie hiervoor de paragrafen 6.2 t/m 6.6.

afbeelding 6.4 Dimensionering puntstuk

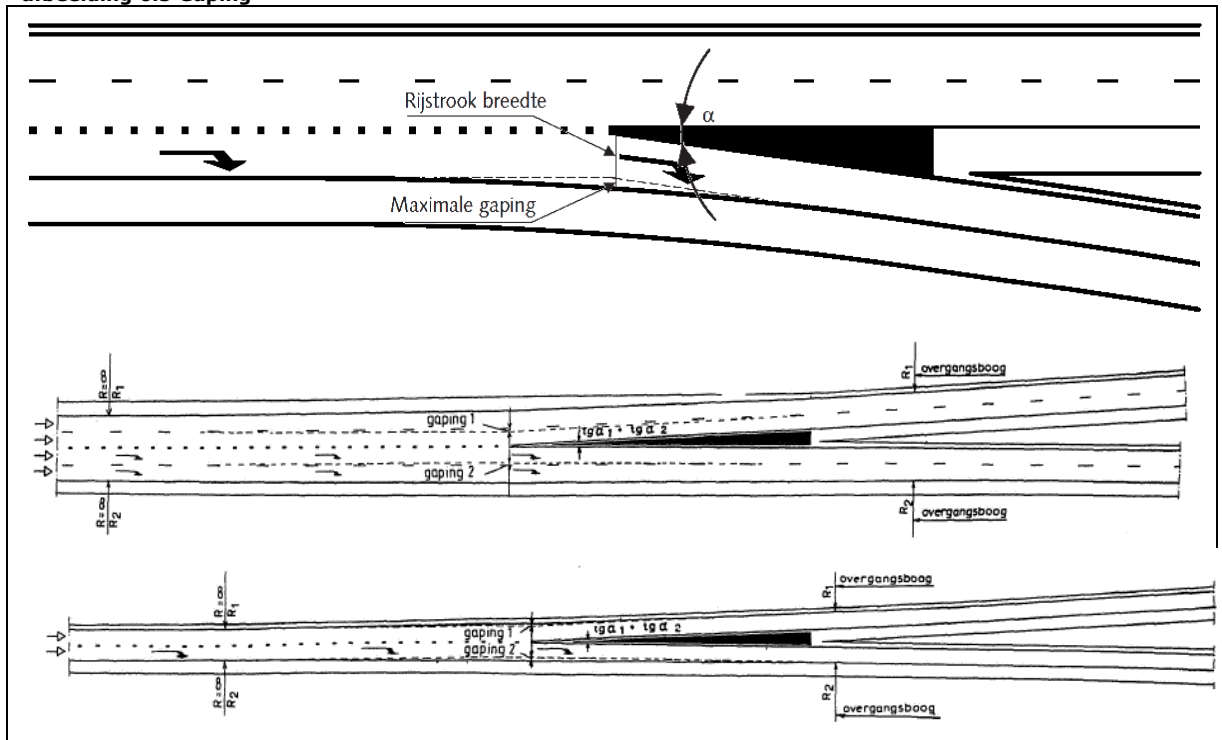


6.1.4

Gaping

Bij uitvoegingen en splitsingen divergeren de rijbanen ter plaatse van de punt van het puntstuk onder een hoek (α). Om de opvallendheid van het beslispunt te vergroten en om de vormgeving van het divergentiepunt vloeiend te laten verlopen, wordt deze hoek voorzien van een afronding. Deze afronding wordt 'gaping' genoemd, zie afbeelding 6.5. De breedte van gaping bedraagt minimaal 0,5 meter maar is nooit breder dan 1,0 m, om inhalen binnen één rijstrook te voorkomen. De lengte van de gaping bedraagt minimaal 80 m en maximaal 150 m. De vluchtstrook en eventueel naastliggende rijstroken met standaardbreedte schuiven mee met de verschoven kantstreep.

afbeelding 6.5 Gaping



6.1.5 *Spreading van discontinuïteiten*

Ter plaatse van discontinuïteiten moet een deel van de weggebruikers van rijstrook wisselen om de gewenste route te kunnen vervolgen. Om deze weggebruikers voldoende gelegenheid te geven om deze rijstrookwisseling voor te bereiden en uit te voeren, zonder het overige verkeer te hinderen, dienen opeenvolgende discontinuïteiten voldoende onderlinge afstand tot elkaar te hebben. Voor de benodigde onderlinge afstand tussen discontinuïteiten gelden twee criteria:

- turbulentieafstand en turbulentielengte (paragraaf 6.1.6);
- bewegwijzeringsafstanden (paragraaf 6.1.7).

Per combinatie van opeenvolgende discontinuïteiten kan één van beide criteria maatgevend zijn. In alle gevallen geldt dat aan beide criteria moet zijn voldaan.

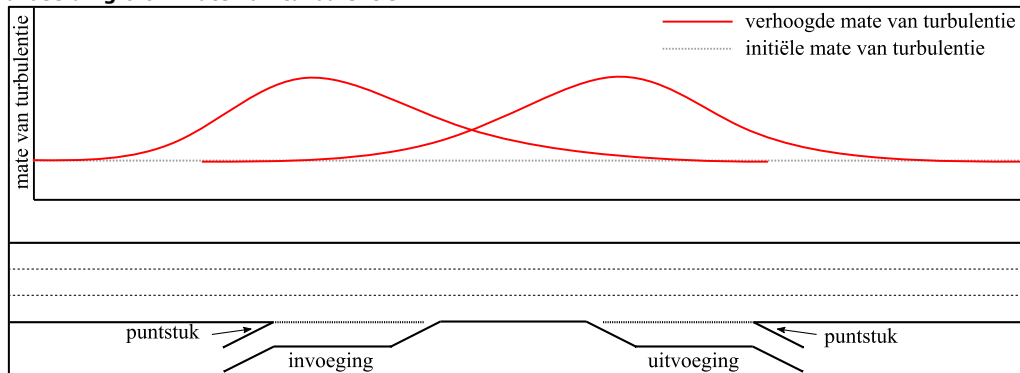
6.1.6 *Turbulentieafstand en turbulentielengte*

Turbulentie is gedefinieerd als 'verandering van snelheid, volgtijd of rijstrook, door individuele voertuigen op een specifiek deel van het wegvak, ongeacht de oorzaak van deze verandering'. Turbulentie is altijd aanwezig in de verkeersstroom. Daarom is ook een tweede definitie van belang: de mate van turbulentie. Dit is 'de frequentie en intensiteit van verandering van snelheid, volgtijd of rijstrook door individuele voertuigen op een specifiek deel van het wegvak binnen een bepaalde periode'.

De mate van turbulentie is hoger rondom discontinuïteiten, omdat voertuigen hier verplicht van rijstrook moeten wisselen. Dit uit zich onder meer in afwijkingen in de volgtijd tussen voertuigen en de verdeling van het verkeer over de rijstroken. Bijbehorende rijgedragkenmerken zijn bijvoorbeeld remacties, uitwijkmanoeuvres, anticiperende rijstrookwisselingen en de noodzakelijke rijstrookwisselingen ten behoeve van routekeuze. Daarnaast zijn bestuurders bezig met allerlei handelingen, waardoor men minder openstaat voor abrupt benodigde handelingen. Turbulentie heeft hierdoor negatieve gevolgen voor de doorstroming (capaciteit, zie paragraaf 4.6) en de verkeersveiligheid (afwijkende rijgedragkenmerken, alertheid).

De afstand waarbinnen sprake is van een verhoogde mate van turbulentie, als gevolg van de betreffende discontinuïteit, is de turbulentieafstand. De mate van turbulentie begint op een bepaalde afstand stroomopwaarts van de discontinuïteit toe te nemen en neemt na de discontinuïteit weer af tot het normale niveau. Dit principe is schematisch weergegeven in afbeelding 6.6.

afbeelding 6.6 - mate van turbulentie



Deze afstand is verschillend per (type) discontinuïteit. Bij een convergentiepunt bevindt de turbulentieafstand zich hoofdzakelijk stroomafwaarts van de discontinuïteit en in beperkte mate stroomopwaarts van de discontinuïteit. Bij een divergentiepunt bevindt de turbulentieafstand zich hoofdzakelijk stroomopwaarts van de discontinuïteit en in beperkte mate stroomafwaarts van de discontinuïteit.

Onderzoek naar turbulentieafstanden bij invoegstroken en uitvoegstroken heeft geleid tot de gemeten afstanden, zoals opgenomen in .

tabel 6.4 - gemeten turbulentieafstanden bij in- en uitvoegstroken¹⁹

invoegstrook		uitvoegstrook	
stroomopwaarts	stroomafwaarts	stroomopwaarts	stroomafwaarts
25-100 m	475-575 m	400-600 m	200-375 m

Vergelijkbare waarden zijn gemeten bij weefvakken, waarbij het wevend verkeer vooral gebruik maakt van het eerste deel van het weefvak. Waarden van splitsingen, samenvoegingen en rijstrookbeëindigingen zijn aangevuld op basis van waarnemingen.

De hoogste mate van turbulentie vindt plaats in de directe omgeving van de discontinuïteit. Verder stroomopwaarts en stroomafwaarts neemt de verhoogde mate van turbulentie sterk af. Aan de buitenranden van de turbulentieafstanden is de verhoging van de mate van turbulentie minimaal. Daarom zal enige overlap van turbulentieafstanden van opeenvolgende discontinuïteiten niet direct tot problemen leiden met betrekking tot doorstroming of verkeersveiligheid.

De turbulentielengte is de maat die moet worden aangehouden om voldoende afstand tussen opeenvolgende discontinuïteiten te verkrijgen, om een te grote overlap van turbulentieafstanden te voorkomen. Bij het hanteren van deze lengtes (zie tabel 6.5 voor hoofdbanen en

¹⁹ Van Beinum, A., H. Farah, F. Wegman, and S. Hoogendoorn. 2018. "Driving behaviour at motorway ramps and weaving segments based on empirical trajectory data." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 92:426-441. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.05.018>.

tabel 6.6 voor niet-hoofdbanen) blijft een voldoende mate van doorstroming en verkeersveiligheid geborgd. Voor niet-hoofdbanen zijn korte afstanden aangehouden, omdat de weggebruiker hier ook een hogere mate van turbulentie verwacht en bewuster (minder geautomatiseerd handelen) hier rijdt. De tabel 6.5 en tabel 6.6 worden gelezen als Herkomst / Bestemming matrix. Dat wil zeggen dat gestart wordt met de stroomopwaarts gelegen discontinuïteit in de kolom "van". Vervolgens wordt de stroomafwaarts gelegen discontinuïteit uit de rijen geselecteerd. De resulterende cel laat de benodigde afstand zien. Bij voorbeeld de turbulentielengte op een hoofdbaan tussen een weefvak en een stroomafwaarts gelegen invoeging is 200 meter.

tabel 6.5 - turbulentielengtes hoofdbanen*

Van / Naar (meetpunt)	invoeging (punt puntstuk)	samenvoeging (punt puntstuk)	uitvoeging (punt puntstuk of punt taper)	splitsing (begin blokmarkering)	weefvak (punt eerste puntstuk of punt eerste taper)	strook- beëindiging (begin verdriftstroken)
invoeging (punt puntstuk)	600 m	600 m	1.100 m	600 m	1.100 m	1.100 m
samenvoeging (punt puntstuk of punt taper)	600 m	600 m	1.100 m	600 m	1.100 m	1.100 m
uitvoeging (punt puntstuk)	200 m	200 m	700 m	200 m	700 m	700 m
splitsing (punt puntstuk)	200 m	200 m	700 m	200 m	700 m	700 m
weefvak (punt tweede puntstuk of punt tweede taper)	200 m	200 m	700 m	200 m	700 m	700 m
strookbeëindiging (einde verdriftstroken)	500 m	500 m	1.000 m	500 m	1.000 m	1.000 m

* Bij de discontinuïteit 'extra rijstrook' is geen sprake van relevante turbulentie.

tabel 6.6 - turbulentielengtes niet-hoofdbanen*

Van / Naar (meetpunt)	invoeging (punt puntstuk)	samenvoeging (punt puntstuk)	uitvoeging (punt puntstuk of punt taper)	splitsing (begin blokmarkering)	weefvak (punt eerste puntstuk of punt eerste taper)	strookbeëindiging (begin verdrijfstrepen)
invoeging (punt puntstuk)	450 m	450 m	825 m	450 m	825 m	825 m
samenvoeging (punt puntstuk of punt taper)	450 m	450 m	825 m	450 m	825 m	825 m
uitvoeging (punt puntstuk)	150 m	150 m	525 m	150 m	525 m	525 m
splitsing (punt puntstuk)	150 m	150 m	525 m	150 m	525 m	525 m
weefvak (punt tweede puntstuk of punt tweede taper)	150 m	150 m	525 m	150 m	525 m	525 m
strookbeëindiging (einde verdrijfstrepen)	375 m	375 m	750 m	375 m	750 m	750 m

* Bij de discontinuïteit 'extra rijstrook' is geen sprake van relevante turbulentie.

eisen aan wegontwerp binnen de turbulentielengte

Vanwege de turbulentie in de verkeersstroom gelden binnen de turbulentielengte tussen twee discontinuïteiten aanvullende eisen aan het wegontwerp: binnen de turbulentielengte mag geen andere discontinuïteit voorkomen. Dit is om te voorkomen dat de turbulentie van de verkeersstroom ten gevolge van de discontinuïteit verhevigt, om zo de nadelige gevolgen voor de doorstroming en verkeersveiligheid te beperken.

6.1.7 Bewegwijzeringsafstanden

Bewegwijzeringsafstanden zijn de afstanden tussen de bewegwijzering onderling of tussen bewegwijzering en het naderende divergentiepunt.

Bewegwijzering is het geheel van visuele boodschappen die op, langs of boven de weg zijn aangebracht om de weggebruikers in staat te stellen hun route te bepalen. Bewegwijzering dient zodanig aangebracht te worden, dat de bestuurder:

- de aangeboden informatie kan lezen en verwerken zonder dat hij snelheid vermindert;
- benodigde manoeuvres op een comfortabele manier kan bepalen en uitvoeren;
- de plaats kan bepalen waar hij zich op een gegeven moment bevindt;
- informatie tot zich kan nemen over weggebonden bestemmingen, zoals verzorgingsplaatsen.

De bewegwijzering heeft een sterke relatie met de vormgeving van autosnelwegen. Bewegwijzering moet daarom integraal in het ontwerpproces meegenomen worden.

eisen aan bewegwijzeringssysteem

Om een bewegwijzeringssysteem te laten functioneren, is het noodzakelijk een consequent systeem toe te passen. De vijf hoofdeisen waaraan bewegwijzering moet voldoen zijn:

- uniformiteit;
- continuïteit;
- leesbaarheid;
- zichtbaarheid;
- begrijpelijkheid.

Voor de vormgeving van bewegwijzering wordt verwezen naar de 'Handreiking Bewegwijzeringsschema's' en de 'Richtlijnen bewegwijzering 2014'.

benodigde bewegwijzeringsafstanden

De bewegwijzering ondersteunt een bestuurder bij de beslissing welke rijstrook of rijbaan hij moet kiezen, zodanig dat een bestuurder voorafgaand aan een divergentiepunt voldoende gelegenheid krijgt om zijn keuze te maken. Bovendien moet hij voldoende ruimte hebben om de daartoe benodigde rijstrookwisselingen en/of snelheidsaanpassing te kunnen uitvoeren.

Bij de nadering van een actiepunt heeft een bestuurder tijd nodig om voor te sorteren. Daarom worden meerdere borden voor de afslaan richting geplaatst met een afstands aanduiding tot het actiepunt. Deze borden stellen eisen aan de minimale afstand tussen twee aansluitingen of tussen een aansluiting en een knooppunt.

Voor de benodigde bewegwijzeringsafstanden bij verschillende rijbaanindelingen wordt verwezen naar de 'Handreiking Bewegwijzeringsschema's' en de 'Richtlijnen bewegwijzering 2014'.

Naast bewegwijzeringsafstanden kunnen er ook eisen aan portaalplaatsing komen vanuit signalering, (calamiteiten)scenario's zoals het kunnen afkruisen van rijstroken en vanuit het plaatsen van DRIPs.

6.1.8 Relatie tot horizontaal alignement

Voor het toepassen van discontinuïteiten in gebogen weggedeelten zie tabel 6.7 voor waarden ten aanzien van het horizontaal alignement.

tabel 6.7. Minimale horizontale boogstralen bij het toepassen van discontinuïteiten

situatie	minimale horizontale boogstraal	
	hoofdbaan	Niet hoofdbaan
Rechtsdraaiende boog	3.000	300
Linksdraaiende boog	4.000	

6.2 Invoeging

Een invoeging is een convergentiepunt waar een rijbaan (de toeleidende rijbaan) door middel van een invoegstrook aansluit op de rechterzijde van een andere rijbaan (de doorgaande rijbaan). Hierbij is sprake van ongelijkwaardigheid tussen beide rijbanen. De toeleidende rijbaan is hierin de ondergeschikte tak. De richtlijnen die gelden voor het toepassen van een invoeging zijn beschreven in paragraaf 4.6.4.

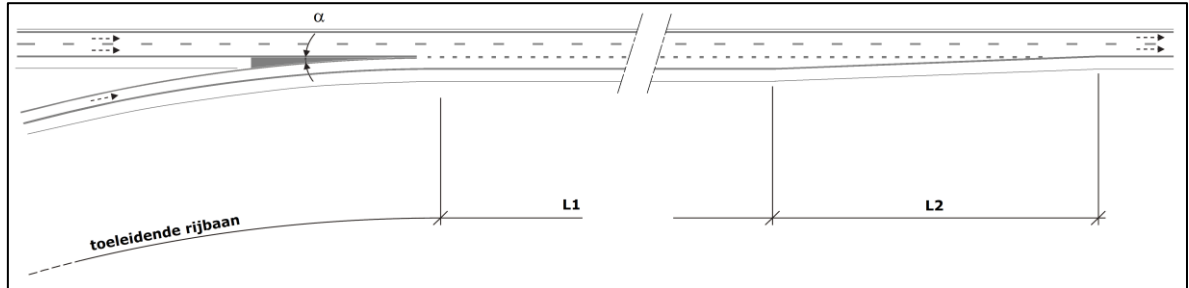
De invoegstrook wordt gezien als extra rijstrook van de doorgaande rijbaan, en deze kan nadat het verkeer heeft ingevoegd komen te vervallen.

6.2.1

Standaardoplossingen

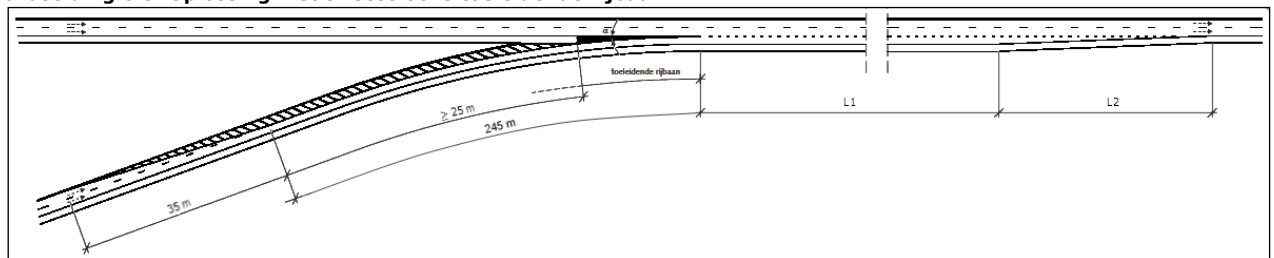
Een voorbeeld van een standaardinvoeging is weergegeven in afbeelding 6.7.

afbeelding 6.7 Standaard invoeging



Wanneer de toeleidende rijbaan uit meer dan 1 rijstrook bestaat, wordt deze voor het einde van het puntstuk afgestreept door middel van een verdrijvingsvlak. De afstreping sluit aan op de vluchtstrook langs de doorgaande rijbaan, zie afbeelding 6.8. De resterende rijstrook voegt in volgens het bovenbeschreven standaardprincipe. Uitgaande van een toeleidende rijbaan met een ontwerpsnelheid van 90 km/u, wordt de afstreping minimaal 280 m stroomopwaarts van (de spitse punt van) het puntstuk ingezet. Deze maat is gebaseerd op een turbulentielengte van 220 m (paragraaf 6.1.5) en een rijstrookbeëindigingslengte van 60 m (paragraaf 6.7).

afbeelding 6.8. Oplossing met tweestrooks toeleidende rijbaan



6.2.2

Onderdelen

Een invoeging bestaat op hoofdlijnen uit de volgende onderdelen:

- de toeleidende rijbaan;
- het puntstuk (convergentiepunt);
- de invoegstrook.

toeleidende rijbaan

Een toeleidende rijbaan is een rijbaan die een aansluitende weg verbindt met de betreffende autosnelweg. Voor het deel van de toeleidende rijbaan tussen de laatste overgangsboog en de punt van het puntstuk geldt een minimale lengte. Deze lengte wordt benut voor het accelereren van voertuigen. De maatgevende acceleratielengte is beschreven in paragraaf 6.1.1.

puntstuk

Het puntstuk markeert de locatie waar de twee rijbanen op elkaar aansluiten. Voorafgaand aan het puntstuk dient het verkeer op de toeleidende rijbaan zicht te hebben op (verkeer op) de doorgaande rijbaan ten behoeve van een optimale relatieve snelheid aan het begin van de invoegstrook. Bovendien moet het verkeer op de doorgaande rijbaan het verkeer op de toeleidende rijbaan kunnen waarnemen (zie paragraaf 5.1.5). Om voldoende wederzijds zicht te

bieden en voldoende herkenbaar te zijn, worden er eisen gesteld aan de dimensionering van het puntstuk.

tabel 6.8. Eisen aan dimensionering puntstuk bij convergentiepunt alle rijbanen

breedte (aan het begin)	hoek tussen rijbanen
2,70 m	$2 \% \leq \tan \alpha \leq 3 \%$
n.v.t.	n.v.t.

De lengte van het puntstuk is een resultante van de breedte en de hoek tussen de rijbanen. Bij rechte weggedeelten is de invoegende rijbaan over dit gedeelte ook recht; bij gebogen wegvakken buigt de invoegende rijbaan mee, bij voorkeur met dezelfde boogstraal. Voor de algemeen geldende aspecten van puntstukken wordt verwezen naar paragraaf 6.1.3.

invoegstrook

Een invoegstrook is een rijstrook van een beperkte lengte stroomafwaarts van een convergentiepunt, die grenst aan de doorgaande rijbaan²⁰. De invoegstrook begint bij de spitse punt van het puntstuk. Om de genoemde functies te vervullen, zijn er eisen aan de dimensionering van invoegstroken gesteld.

tabel 6.9. Lengtes van invoegstrook

Type rijbaan		lengte invoegstrook exclusief wigvormig gedeelte (L1)	lengte wigvormig gedeelte (L2)
Hoofdbaan	Standaard maat	250 m	100 m
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	250 m	100 m
	90 km/u	190 m	75 m
	70 km/u	150 m	60 m
	50 km/u	n.v.t.	n.v.t.

6.3

Uitvoeging

Een uitvoeging is een divergentiepunt waarbij een rijbaan (de afbuigende rijbaan) zich afscheidt van een andere rijbaan (de doorgaande rijbaan) door middel van één of twee uitrijstroken aan de rechterzijde van de doorgaande rijbaan. Hierbij is sprake van ongelijkwaardigheid tussen beide rijbanen. De afbuigende rijbaan is hierin de ondergeschikte tak. De richtlijnen die gelden voor het toepassen van een uitvoeging zijn beschreven in paragraaf 4.6.5.

Bij een uitvoeging geldt dat de uitrijstro(o)k(en) als extra rijstro(o)k(en) aansluit(en) op de rechterzijde van de doorgaande rijbaan. Bij het puntstuk gaan de uitrijstroken over in de afbuigende rijbaan.

6.3.1

Standaardoplossingen

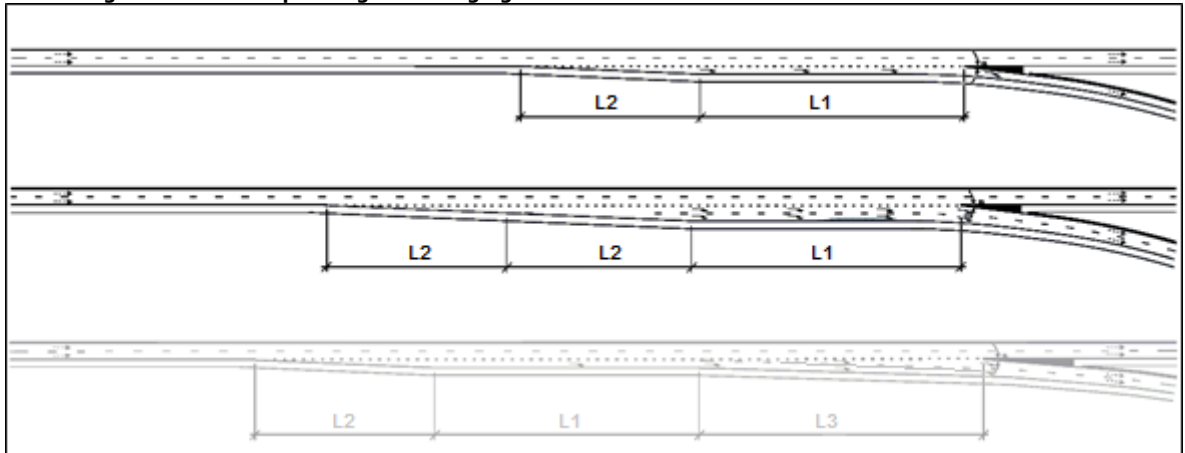
In afbeelding 6.9 zijn standaardoplossingen weergegeven voor de uitvoeging. Dit zijn de volgende oplossingen, in volgorde van voorkeur:

- standaard eenstrooks uitvoeging;
- tweestrooks uitvoeging met verbreding aan de rechterzijde;
- tweestrooks uitvoeging met taperende linkerrijstrook.

²⁰ Indien dubbele invoegstroken worden toegepast, grenst slechts de binnenste strook aan een doorgaande rijstrook.

De te kiezen oplossing is afhankelijk van de geldende verkeersintensiteiten, zie paragraaf 4.6.5. Daarnaast dient de keuze voor een bepaalde oplossing afgestemd worden met de bewegwijzering (zie paragraaf 7.2).

afbeelding 6.9 Standaardoplossingen uitvoeging



6.3.2

Onderdelen

Een uitvoeging bestaat op hoofdlijnen uit de volgende onderdelen:

- de uitrijstrook;
- het puntstuk (divergentiepunt);
- de afbuigende rijbaan.

uitrijstrook

De uitrijstrook is een rijstrook van beperkte lengte ter plaatse van een divergentiepunt, die grenst aan een doorgaande rijbaan.²¹ De uitrijstrook eindigt bij de spitse punt van het puntstuk.

De richtlijnen met betrekking tot de dimensionering van de genoemde oplossingen zijn weergegeven in tabel 6.10 t/m tabel 6.12.

tabel 6.10 Standaardlengtes van eenstrooks uitvoeging

Type rijbaan		lengte uitrijstrook exclusief wigvormig gedeelte (L1)	lengte wigvormig gedeelte (L2)
Hoofdbaan	Standaard maat	150 m	100 m
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	150 m	100 m
	90 km/u	110 m	75 m
	70 km/u	90 m	60 m
	50 km/u	60 m	50 m

²¹ Indien dubbele uitrijstroken worden toegepast, grenst slechts de binnenste strook aan een doorgaande rijstrook.

tabel 6.11 Standaardlengtes van tweestrooks uitvoering met verbreding aan rechterzijde

Type rijbaan		lengte uitrijstrook exclusief wigvormig gedeelte (L1)	lengte wigvormig gedeelte (L2)*
Hoofdbaan	Standaard maat	150 m	100 m
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	150 m	100 m
	90 km/u	110 m	75 m
	70 km/u	90 m	60 m
	50 km/u	n.v.t.	n.v.t.

* De lengte van het wigvormige gedeelte wordt 2x toegepast bij een tweestrooks uitvoering met verbreding aan de rechterzijde.

tabel 6.12 Standaardlengtes van tweestrooks uitvoering met taperende linkse uitrijstrook*

type rijbaan		lengte uitrijstrook exclusief wigvormig gedeelte (L1)	lengte wigvormig gedeelte (L2)	lengte taperuitvoeging (L3)
Hoofdbaan	Standaard maat	150 m	100 m	200 m
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	150 m	100 m	200 m
	90 km/u	110 m	75 m	150 m
	70 km/u	90 m	60 m	120 m
	50 km/u	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

* De tabeltekst is transparant gemaakt om aan te geven dat taperuitvoeringen in principe niet worden toegepast.

Een uitvoering met twee uitvoegende rijstroken wordt standaard uitgevoerd met een verbreding aan de rechterzijde. De taperuitvoeging wordt alleen toegepast indien de voorkeursoplossing fysiek niet inpasbaar is en de verbreding aan de rechterzijde tot onvoldoende verkeerskundige benutting leidt. Van belang bij de taperuitvoeging is dat de weergegeven lengtes onder geen beding onderschreden mogen worden.

Bij voorkeur vormen de minimale lengtes uit de bovenstaande tabellen ook de bovengrens. Het verlengen van de uitrijstrook heeft tot gevolg dat op het eerste gedeelte van deze rijstrook met onverminderde snelheid wordt doorgereden, waarbij voertuigen op de rechterstrook van de doorgaande rijbaan worden ingehaald. Dit kan leiden tot onvoorspelbare situaties en tot uitlokking van ongewenste manoeuvres, met negatieve gevolgen voor de verkeersveiligheid.

Bij een linkse boog in de hoofdbaan met een bijpassende (positieve) verkanting, wordt de uitrijstrook in dezelfde verkantingsrichting uitgevoerd omwille van de zichtbaarheid. Bij de dan volgende verkantingsovergang in de afbuigende rijbaan wordt om dezelfde reden de rechtse kantstreep van de rijbaan als wentelingsas gekozen.

puntstuk

Het puntstuk markeert de plaats waar de twee rijbanen divergeren. Vanwege herkenbaarheid en zichtbaarheid dient de afbuigende rijbaan middels de witte vlakvulling duidelijk te worden ingezet. Daarom wordt een hoek toegepast tussen de rijbanen van minstens 5%. Eisen aan de bereikbaarheid stellen een maximale hoek. De eisen aan de dimensionering van puntstukken zijn weergegeven in tabel 6.13.

tabel 6.13 Eisen aan dimensionering puntstuk bij divergentiepunt

Type doorgaande rijbaan		breedte (aan het einde)	hoek tussen rijbanen
Hoofdbaan	Standaard maat	2,70 m	$5 \% \leq \text{tg } \alpha \leq 8 \%$
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	2,70 m	$5 \% \leq \text{tg } \alpha \leq 8 \%$
	90 km/u		$5 \% \leq \text{tg } \alpha \leq 10 \%$
	70 km/u		$5 \% \leq \text{tg } \alpha \leq 12 \%$
	50 km/u		$5 \% \leq \text{tg } \alpha \leq 13 \%$

De lengte van het puntstuk is een resultante van de breedte en de hoek tussen de rijbanen.

Bij een uitvoeging in een horizontale boog dient de hoek tussen de rijbanen zodanig te worden gekozen, dat het verloop van de afbuigende rijbaan duidelijk afwijkt van het alignement van de doorgaande rijbaan. Bij onvoldoende verschil (hoek rond 5 %) bestaat immers de kans op misleiding: de uitvoegende rijbaan kan bij slechte zichtcondities worden aangezien voor de doorgaande hoofdbaan.

Voor de algemeen geldende aspecten van puntstukken wordt verwezen naar paragraaf 6.1.3. Voor de toepassing van gaping wordt verwezen naar paragraaf 6.1.4.

afbuigende rijbaan

Een afbuigende rijbaan is een rijbaan die de betreffende autosnelweg verbindt met een aansluitende weg. Voor het deel van de afbuigende rijbaan tussen de spitse punt van het puntstuk en het midden van de eerste overgangsboog geldt een minimale lengte. Deze lengte is afhankelijk van de benodigde deceleratielengte. Eisen met betrekking tot de benodigde deceleratielengte zijn weergegeven in paragraaf 6.1.2.

Het alignement van de afbuigende rijbaan dient over het eerste gedeelte het alignement van de doorgaande rijbaan te volgen. Dit is van belang om de afbuigende rijbaan in te leiden en om een verkantingsovergang mogelijk te maken. Tegenverkanting in afbuigende rijbanen leidt immers veelal tot een verkeersonveilig wegontwerp vanwege de hoge snelheid van het uitvoegende verkeer in combinatie met horizontale bogen in een lager ontwerpsnelheidsregime. Dit stelt de volgende ontwerpeisen aan de eerste tientallen meters van de afbuigende rijbaan:

- bij een horizontale rechtstand in de hoofdbaan wordt in het eerste gedeelte van de afbuigende rijbaan eveneens een horizontale rechtstand toegepast;
- bij een horizontale boog in de hoofdbaan wordt in het eerste gedeelte van de afbuigende rijbaan een horizontale boog met dezelfde boogstraal toegepast.

Bij het vervolg van de afbuigende rijbaan dient rekening gehouden te worden met de stappentheorie, behalve als er geen duidelijke S-boog aanwezig is (zie paragraaf 5.2.2), om te waarborgen dat de snelheidsafname veilig plaats kan vinden.

Indien vlak na het divergentiepunt opnieuw een divergentiepunt gesitueerd is, wordt dit tweede divergentiepunt vormgegeven door middel van opnieuw een uitvoeging. Onafhankelijk van de situatie is een splitsing hier ongewenst, omdat:

- de weggebruiker kort na een uitvoeging niet verwacht dat hij een verplichte rijstrookwisseling naar links moet ondernemen, en hierdoor in zowel langs- als dwarsrichting onverwachte manoeuvres kan gaan uitvoeren;
- op korte afstand na het eerste divergentiepunt de linkse rijstrook (inhaalstrook) overgaat in een rijstrook met een eigen bestemming, hetgeen snelheidsverschillen tussen de rijstroken ongewenst maakt;

- bestuurders die bekend zijn reeds vroegtijdig (voor de blokmarkering van het splitsingspunt) zullen voorsorteren, hetgeen tot capaciteitsverlies (onderbenutting rijstroken) en ongewenst gedrag (en dus turbulentie en verkeersonveiligheid) leidt.

6.4

Samenvoeging

Een samenvoeging is een convergentiepunt van twee rijbanen, waarbij van elk van de samenkomende rijbanen ten minste één rijstrook doorloopt. Een samenvoeging wordt toegepast indien op de doorgaande rijbaan na het convergentiepunt uit het oogpunt van capaciteit meer rijstroken benodigd zijn dan ervoor. De voorwaarden die gelden voor het toepassen van een samenvoeging zijn beschreven in paragraaf 4.6.6.

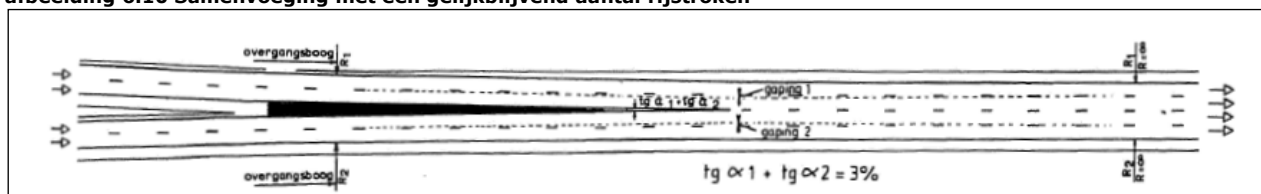
Binnen samenvoegingen wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende standaardoplossingen:

- samenvoegingen met een gelijkblijvend aantal rijstroken;
- samenvoegingen met een afnemend aantal rijstroken.

samenvoeging met een gelijkblijvend aantal rijstroken

Bij een standaard samenvoeging is de som van het aantal rijstroken voor en na het convergentiepunt gelijk. De standaardoplossing hiervoor is weergegeven in afbeelding 6.10. De maatgevende lengtes zijn vermeld in tabel 6.14.

afbeelding 6.10 Samenvoeging met een gelijkblijvend aantal rijstroken



tabel 6.14 Eisen aan dimensionering samenvoeging voor alle rijbanen

lengte voor puntstuk waarover beide rijbanen ontwerp- elementen met dezelfde ontwerpsnelheid hebben	lengte voor puntstuk waarover beide rijbanen (nagenoeg) recht en op gelijke hoogte liggen	hoek tussen samenvoegende rijbanen *
200 m	100 m	$\text{tg } \alpha \leq 3 \%$

* Voor het overige gelden dezelfde eisen aan het puntstuk als bij de invoeging, zie paragraaf 6.2.

samenvoeging met afnemend aantal rijstroken

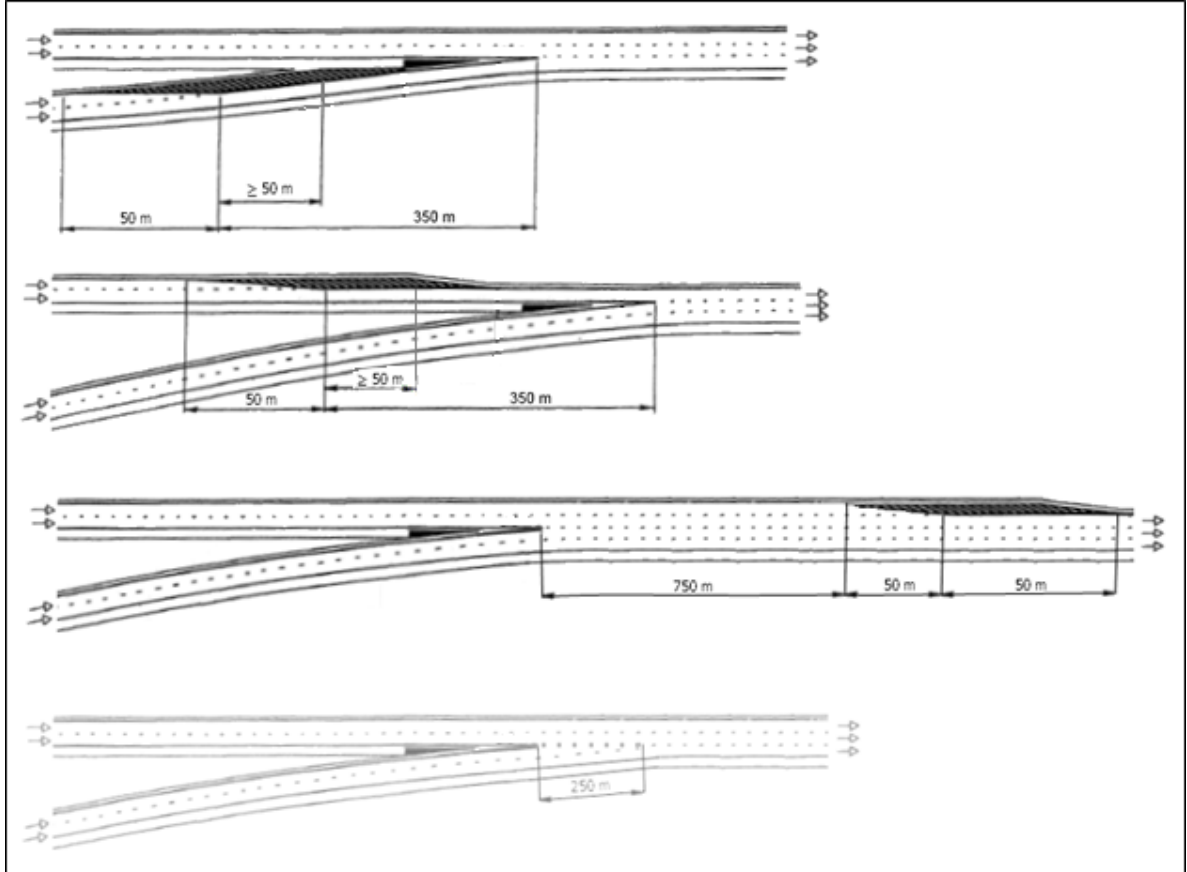
Voor de inrichting van samenvoeging met afnemend aantal rijstroken wordt de volgende volgorde aangehouden:

1. strookbeëindiging op één van de rijbanen stroomopwaarts van de samenvoeging;
2. strookbeëindiging op de rijbaan stroomafwaarts van de samenvoeging;
3. samenvoeging middels een taperende rijstrook.

De standaardoplossingen voor samenvoegingen met een afnemend aantal rijstroken zijn weergegeven in afbeelding 6.11. Voor inrichtingen met een rijstrookbeëindiging gelden eisen met betrekking tot turbulentie (zie paragraaf 6.1.5) en rijstrookverminderingen (zie paragraaf 6.7). De dimensioneringseisen zijn hetzelfde als bij samenvoegingen met een gelijkblijvend aantal

rijstroken (tabel 6.14). Voor tapersamenvoegingen gelden afwijkende dimensioneringseisen (zie tabel 6.15).

afbeelding 6.11 Samenvoeging met afnemend aantal rijstroken*



* De lengtes in de afbeelding zijn gebaseerd op een ontwerpsnelheid van 120 km/u voor alle rijbanen.

tabel 6.15. Eisen aan dimensionering tapersamenvoeging

Type rijbaan		lengte voor puntstuk waarover beide rijbanen ontwerp-elementen met dezelfde ontwerpsnelheid hebben	lengte voor puntstuk waarover beide rijbanen (nagenoeg) recht en op gelijke hoogte liggen	hoek tussen taperende rijbanen*	lengte van de intaperende rijstrook**
Hoofdbaan	Standaard maat	200 m	100 m	$2 \% \leq \tan \alpha \leq 3 \%$	250 m
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u				250 m
	90 km/u				190 m
	70 km/u				150 m
	50 km/u				n.v.t.

* Voor het overige gelden dezelfde eisen aan het puntstuk als bij de invoeging, zie paragraaf 6.2.

** De tabeltekst is transparant gemaakt om aan te geven dat tapersamenvoegingen in principe niet worden toegepast.

6.5

Splitsing

Een splitsing is een divergentiepunt waar een rijbaan overgaat in twee rijbanen met dezelfde ontwerpsnelheid, waarbij beide rijbanen ten minste één rijstrook van de oorspronkelijke rijbaan bevatten. De som van het aantal rijstroken na het divergentiepunt is minimaal even groot als voor het divergentiepunt. De rechterrijstrook van de rijbaan vóór het divergentiepunt wordt altijd voortgezet in de rechterrijbaan ná dat punt. De voorwaarden die gelden voor het toepassen van een splitsing zijn beschreven in paragraaf 4.6.7.

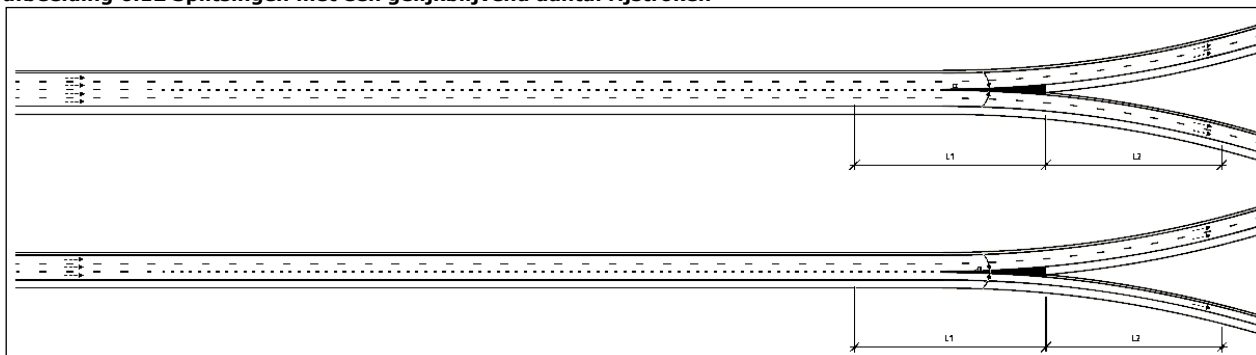
Binnen splitsingen wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende standaardoplossingen:

- splitsingen met een gelijkblijvend aantal rijstroken;
- splitsingen met een toenemend aantal rijstroken.

splitsing met een gelijkblijvend aantal rijstroken

Bij een standaard splitsing is de som van het aantal rijstroken voor en na het divergentiepunt gelijk. De standaardoplossing hiervoor is weergegeven in afbeelding 6.12. De maatgevende lengtes zijn vermeld in tabel 6.16.

afbeelding 6.12 Splitsingen met een gelijkblijvend aantal rijstroken



tabel 6.16 Eisen aan dimensionering splitsing

Type rijbaan		lengte voor eind puntstuk waarop toeleidenderijbanen (nagenoeg) recht ligt	lengte na eind puntstuk waarop beide rijbanen (nagenoeg) recht en op gelijke hoogte liggen	hoek tussen splitsende rijbanen*
Hoofdbaan	Standaard maat	200 m	200 m	$3 \% \leq \text{tg } \alpha \leq 4 \%$
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	200 m	200 m	$3 \% \leq \text{tg } \alpha \leq 4 \%$
	90 km/u	150 m	150 m	$3 \% \leq \text{tg } \alpha \leq 6 \%$
	70 km/u	120 m	120 m	$3 \% \leq \text{tg } \alpha \leq 8 \%$
	50 km/u	100 m	100 m	$3 \% \leq \text{tg } \alpha \leq 10 \%$

* voor het overige gelden dezelfde eisen aan het puntstuk als bij de uitvoeging, zie paragraaf 6.3.

Vanwege de door te zetten ontwerpsnelheid na het puntstuk, heeft een splitsing geen deceleratielengte. Het karakter van de weg mag pas na de in tabel 6.16 genoemde lengte aangepast worden.

Ter ondersteuning van het onderscheid met een uitvoeging, wordt gekozen voor een kleine splitsingshoek. Hierdoor krijgt de splitsing een vloeiender verloop. De hoeken van de splitsende rijbanen met de oorspronkelijke rijbaan zijn bij voorkeur gelijk (en daarmee de helft van de

totale hoek). Indien dit niet inpasbaar is, wordt één van de rijbanen in het verlengde van de oorspronkelijke rijbaan gelegd.

Voor de enkele dan wel beide afbuigende rijbanen worden de buitenzijden van de rijbanen ter hoogte van het splitsingspunt vormgegeven met horizontale bogen. De binnenzijden (langs het puntstuk) worden opgebouwd uit rechtstanden, die na het splitsingspunt overgaan in horizontale bogen.

Ter bevordering van de zichtbaarheid van de splitsing is het gewenst de enkele dan wel beide afbuigende rijbanen ter hoogte van het begin van het puntstuk te verbreden (gaping) met maximaal 1,0 m. De gaping wordt geleidelijk opgebouwd en heeft een maximale lengte van 200 m.

Het punt waar de blokmarkering ter aankondiging van de splitsing wordt ingezet, wordt in samenhang met bewegwijzering gekozen.

splitsingen met een toenemend aantal rijstroken

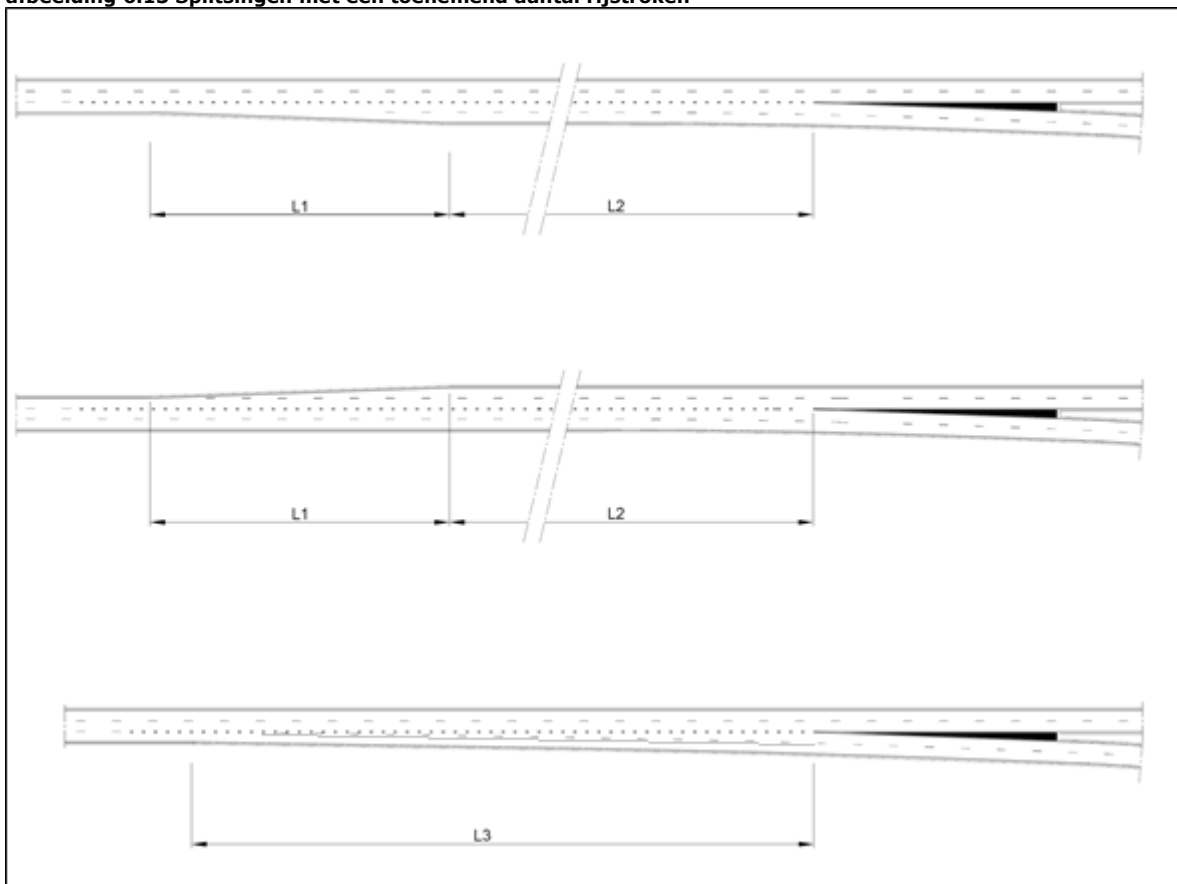
Indien de som van het aantal rijstroken na de splitsing groter dient te zijn dan ervoor, dient voor de inrichting de volgende volgorde aangehouden te worden:

1. toevoeging van een rijstrook aan de rechterzijde van de rijbaan;
2. toevoeging van een rijstrook aan de linkerzijde van de rijbaan.

Voor de vormgeving van deze splitsingen worden dezelfde richtlijnen gehanteerd als voor splitsingen met een gelijkblijvend aantal rijstroken. Het punt waar de blokmarkering ter aankondiging van de splitsing wordt ingezet, wordt in samenhang met bewegwijzering gekozen. De blokmarkering start op 50 meter stroomopwaarts van de laatste voorwegwijzer.

De lengte van een bijkomende rijstrook aan de rechterzijde is minimaal 450 meter, ingeleid door 100 meter wigvorm (zie tabel 6.17). Indien niet aan deze minimale lengte wordt voldaan, dient gekozen te worden voor een tapersplitsing. De reden hiervoor is dat een te korte lengte van de bijkomende rijstrook leidt tot onvoldoende vulling van de rechter rijstrook, onduidelijke bewegwijzering en markering.

afbeelding 6.13 Splitsingen met een toenemend aantal rijstroken



tabel 6.17 Standaardlengtes van splitsingen met toenemend aantal rijstroken

Type rijbaan		lengte wigvormig gedeelte (L1)	lengte toevoegende rijstrook exclusief wigvormig gedeelte (L2)	lengte tapersplitsing (L3)
Hoofdbaan	Standaard lengte	100 m	450 m	200 m
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	100 m	450 m	200 m
	90 km/u	75 m	330 m	150 m
	70 km/u	60 m	270 m	120 m
	50 km/u	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

De maten in tabel 6.17 moeten worden gecombineerd met de maten in tabel 6.16.

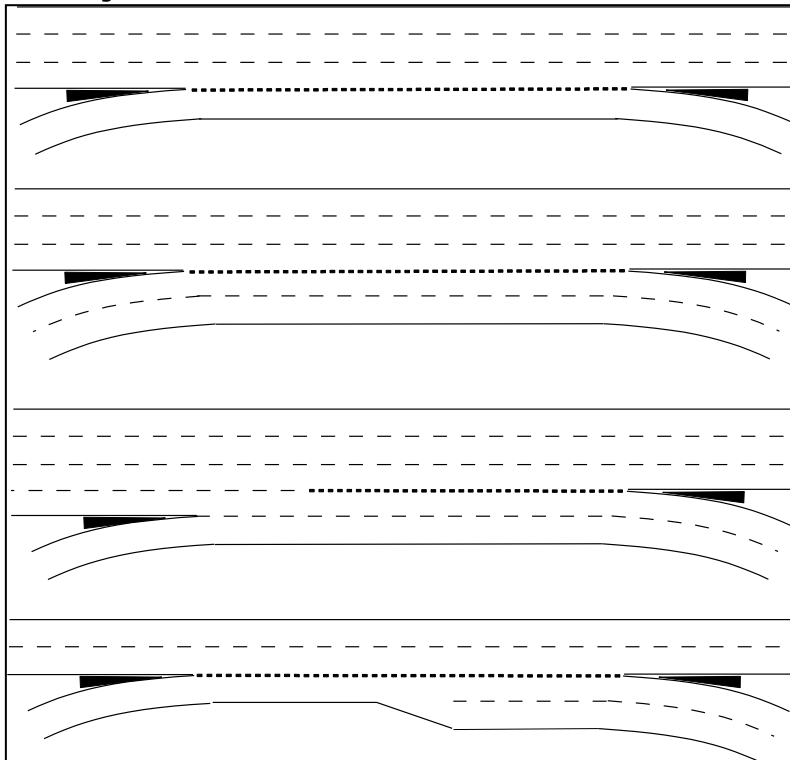
6.6

Weefvak

Een weefvak is een wegvak waarbinnen een invoegende rijbaan en een uitvoegende rijbaan direct met elkaar verbonden zijn door middel van één of meerdere extra rijstroken aan de rechter zijde van de doorgaande rijbaan. Hierbij is sprake van een beperkte lengte tussen het convergentie- en divergentiepunt – vanuit eisen ten aanzien van turbulentie en bewegwijzering wordt er dan gekozen voor een weefvak. De extra rijstro(o)k(en) is/zijn bedoeld voor weven: het onder een zeer kleine hoek en met gering snelheidsverschil kruisen van twee

verkeersstromen die zich in nagenoeg dezelfde richting bewegen. Enkele voorbeelden hiervan zijn weergegeven in afbeelding 6.14. De afwegingen die ten grondslag liggen aan de keuze van een bepaald weefvak, zijn beschreven in paragraaf 4.6.8. Het weefvak wordt gemeten tussen het einde van het convergentiepuntstuk en het begin van het divergentiepuntstuk.

afbeelding 6.14 Enkele voorbeelden weefvak

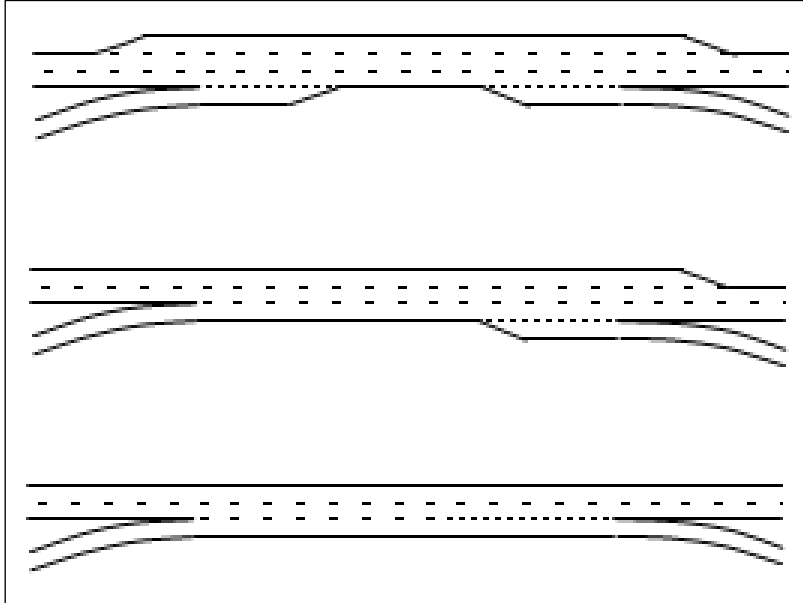


Er kan onderscheid gemaakt worden tussen weefvakken voor gelijkwaardige verkeersstromen en voor ongelijkwaardige verkeersstromen, of een combinatie van beiden²². Daarnaast kan er onderscheid gemaakt worden tussen symmetrische (standaard) weefvakken en asymmetrische weefvakken.

Het weefvak wordt toegepast wanneer een convergentiepunt en een divergentiepunt maximaal 1.500 m van elkaar gelegen zijn en de I/C verhouding (zie paragraaf 4.5) en bewegwijzering hier aanleiding toe geeft. Bij grotere lengte wordt een invoeging gevolgd door een uitvoeging toegepast. Indien dit uit het oogpunt van capaciteit niet mogelijk is, wordt een extra rijstrook en een rijstrookbeëindiging op de doorgaande rijbaan toegepast, of er wordt een samenvoeging gevolgd door een splitsing toegepast. Een combinatie van beiden is eveneens mogelijk (zie afbeelding 6.15). Hierbij geldt de oplossing met een gecombineerde samenvoeging en splitsing als minst gewenst vanwege de resulterende rijstrookwisselingen voor vrachtverkeer. De voorkeur voor de te kiezen oplossing is afhankelijk van de verkeersstromen, maar gaat in principe uit naar situaties waarbij in- en uitvoegingen worden gecombineerd met een extra rijstrook en/of een rijstrookbeëindiging aan de linkerzijde.

²² Zo kan bij het convergentiepunt sprake zijn van gelijkwaardige verkeersstromen, terwijl bij het divergentiepunt sprake is van ongelijkwaardige verkeersstromen (of andersom).

afbeelding 6.15 Oplossingen bij grotere afstand tussen convergentiepunt en divergentiepunt



6.6.1 *Gelijkwaardigheid van de verkeersstromen*

Voor de categorisering van weefvakken wordt onderscheid gemaakt in:

- weefvakken voor gelijkwaardige verkeersstromen;
- weefvakken voor ongelijkwaardige verkeersstromen;
- weefvakken voor gelijkwaardige en ongelijkwaardige verkeersstromen.

weefvakken voor gelijkwaardige verkeersstromen

Een weefvak voor gelijkwaardige verkeersstromen is een samenstel van een samenvoeging en een splitsing. Het wordt toegepast indien er op basis van de netwerkcategorisering geen hiërarchisch onderscheid gemaakt kan worden tussen de rijbanen. Op hoofdlijnen betekent dit dat de convergerende / divergerende rijbanen dezelfde ontwerpsnelheden hebben.²³ Dit doet zich bijvoorbeeld voor wanneer twee (doorgaande) autosnelwegen over enige lengte parallel lopen.

Voor de dimensionering van de puntstukken en van de toeleidende en afbuigende rijbanen worden voor weefvakken met gelijkwaardige verkeersstromen de eisen zoals omschreven onder samenvoeging en splitsing aangehouden.

weefvakken voor ongelijkwaardige verkeersstromen

Een weefvak voor ongelijkwaardige verkeersstromen is een samenstel van een invoeging en een uitvoeging. Het wordt toegepast indien er op basis van de netwerkcategorisering hiërarchisch onderscheid gemaakt kan worden tussen de rijbanen. Op hoofdlijnen betekent dit dat de convergerende / divergerende rijbanen ongelijke ontwerpsnelheden hebben. Dit doet zich bijvoorbeeld voor wanneer een toerit wordt aangesloten op de stroomafwaarts gelegen afrit.

²³ Naast gelijke ontwerpsnelheden zijn er nog enkele situaties wanneer sprake is van weefvakken voor gelijkwaardige verkeersstromen: er is sprake van gelijkwaardig convergentiepunt wanneer wordt voldaan aan de toepassingseisen voor een samenvoeging (paragraaf 4.6.6); er is sprake van gelijkwaardig divergentiepunt wanneer wordt voldaan aan de toepassingseisen voor een splitsing (paragraaf 4.6.7).

De rijstrook of rijstroken voor de wevende verkeersstroom zijn gesitueerd aan de rechterzijde van de doorgaande rijbaan. Voor de dimensionering van de puntstukken en van de toeleidende en afbuigende rijbanen worden voor weefvakken met ongelijkwaardige verkeersstromen de eisen zoals omschreven onder invoeging en uitvoeging aangehouden.

weefvakken voor gelijkwaardige en ongelijkwaardige verkeersstromen

Er kan ook sprake zijn van een weefvak met een combinatie van gelijkwaardige en ongelijkwaardige verkeersstromen:

- weefvakken waarbij de ingaande verkeersstromen (convergentiepunt) gelijkwaardig zijn en de uitgaande verkeersstromen (divergentiepunt) ongelijkwaardig;
- weefvakken waarbij de ingaande verkeersstromen (convergentiepunt) ongelijkwaardig zijn en de uitgaande verkeersstromen (divergentiepunt) gelijkwaardig.

In deze gevallen worden bij het gelijkwaardige convergentie-/divergentiepunt dezelfde eisen aangehouden als bij weefvakken voor gelijkwaardige verkeersstromen. Bij het ongelijkwaardige convergentie-/divergentiepunt worden dezelfde eisen aangehouden als bij weefvakken voor ongelijkwaardige verkeersstromen.

6.6.2 Standaardoplossingen

Voor de dimensionering van weefvakken wordt onderscheid gemaakt tussen:

- symmetrische weefvakken;
- asymmetrische weefvakken.

De belangrijkste criteria voor de dimensionering van weefvakken is het aantal benodigde rijstroken per rijbaan, wat maatgevend is voor de capaciteit, en de benodigde bewegwijzeringsafstanden, wat maatgevend is voor de lengte van het weefvak. De factoren met betrekking tot dimensionering op basis van capaciteit zijn beschreven in paragraaf 4.6.8.

De eisen aan de lengte van een weefvak zijn gebaseerd op bewegwijzeringsafstanden. Om benodigde rijstrookwisselingen ten behoeve van routekeuze tijdig te kunnen voorbereiden, dient een weefvak voldoende lengte te hebben om de benodigde bewegwijzeringsafstanden te kunnen toepassen. Daarnaast is er voldoende weglengte nodig om de rijstrookwisseling uit te kunnen voeren. Een kort weefvak wordt als oncomfortabel ervaren. De combinatie van een kort weefvak en een complex verkeersbeeld, met een beperkte hoeveelheid geschikte hiaten om in te kunnen voegen, kan leiden tot verkeersonveilige situaties en een sterke reductie van de capaciteit. Te lange weefvakken zijn ongewenst, vanwege het optreden van ongewenst verkeersgedrag. Voor alle weefvakconfiguraties geldt een maximale weefvaklengte van 1.500 m. Tapers mogen alleen onder strikte voorwaarden in asymmetrische weefvakken worden toegepast bij of de convergentie of de divergentie, nooit aan beide zijden van het weefvak.

symmetrisch weefvak

Standaard worden weefvakken ontworpen als symmetrische weefvakken. Dit geldt zowel voor weefvakken met gelijkwaardige stromen als voor weefvakken met ongelijkwaardige verkeersstromen. 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.

Voor de lengte van het weefvak zijn eisen aan de bewegwijzering (zie tabel 6.18) maatgevend. Om te bepalen of de in tabel 6.18 weergegeven minimumlengtes ook de gewenste verkeersafwikkeling opleveren, wordt verwezen naar het Handboek CIA. De vanuit

verkeersafwikkeling vereiste lengte van symmetrische weefvakken is doorgaans maatgevend boven de eisen vanuit bewegwijzering.

tabel 6.18 Minimumlengtes symmetrische weefvakken op basis van bewegwijzering

aantal rijstroken					minimale weefvaklengte vanuit bewegwijzering
toeleidende rijbanen		weefvak	afbuigende rijbanen		
links	rechts		links	rechts	
1-strooks	1-strooks	2-strooks	1-strooks	1-strooks	400 m
2-strooks	1-strooks	3-strooks	2-strooks	1-strooks	400 m
3-strooks	1-strooks	4-strooks	3-strooks	1-strooks	500 m
4-strooks	1-strooks	5-strooks	4-strooks	1-strooks	500 m
5-strooks	1-strooks	6-strooks	5-strooks	1-strooks	500 m
1-strooks	2-strooks	3-strooks	1-strooks	2-strooks	500 m
2-strooks	2-strooks	4-strooks	2-strooks	2-strooks	600 m
3-strooks	2-strooks	5-strooks	3-strooks	2-strooks	600 m
4-strooks	2-strooks	6-strooks	4-strooks	2-strooks	600 m
5-strooks	2-strooks	7-strooks	5-strooks	2-strooks	600 m
3-strooks	3-strooks	6-strooks	3-strooks	3-strooks	600 m

asymmetrische weefvak

Afwijkend van de standaardvormgeving met symmetrische weefvakken, worden asymmetrische weefvakken toegepast. Een asymmetrisch weefvak heeft twee verschijningsvormen:

- 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. Hiervoor zijn twee uitvoeringsmogelijkheden:
 - een extra rijstrook over het laatste deel van het weefvak, indien uit het oogpunt van capaciteit op de splitsende rijbanen meer rijstroken benodigd zijn dan op het weefvak. De toegevoegde strook is 450 meter stroomafwaarts van het puntstuk op volledige breedte en wordt ingeleid door een wigvormig gedeelte van 100 meter;
 - een tapersplitsing of tapersamenvoeging, indien uit het oogpunt van capaciteit op de splitsende of samenvoegende rijbanen meer rijstroken benodigd zijn dan op het weefvak maar er onvoldoende ruimte is dit vorm te geven door middel van een extra rijstrook over het laatste deel. Dit wordt alleen (bij uitzondering) toegepast bij convergentie / divergentie van ongelijkwaardige verkeersstromen.

Voor de lengte van het asymmetrische weefvak zijn eisen aan de bewegwijzering (zie tabel 6.19) maatgevend boven eisen aan de manoeuvreerlengte. Om te bepalen of de in tabel 6.19 weergegeven minimumlengtes ook de gewenste verkeersafwikkeling opleveren, wordt verwezen naar het Handboek CIA. De vanuit verkeersafwikkeling vereiste lengte van asymmetrische weefvakken is echter zelden maatgevend boven de eisen vanuit bewegwijzering.

tabel 6.19 Minimumlengtes asymmetrische weefvakken op basis van bewegwijzering

aantal rijstroken					minimale weefvaklengte vanuit bewegwijzering
toeleidende rijbanen		weefvak	afbuigende rijbanen		
links	rechts		links	rechts	
2-strooks	1-strooks	3-strooks	2-strooks	2-strooks	800 m
2-strooks	1-strooks	3-strooks	2-strooks	2-strooks ^T	600 m
2-strooks	2-strooks ^T	3-strooks	2-strooks	1-strooks	750 m
2-strooks	2-strooks	4-strooks	3-strooks	1-strooks	800 m
2-strooks	2-strooks	4-strooks	3-strooks	2-strooks	800 m
2-strooks	2-strooks	4-strooks	3-strooks	2-strooks ^T	800 m
3-strooks	1-strooks	4-strooks	2-strooks	2-strooks	1.000 m
3-strooks	1-strooks	4-strooks	3-strooks	2-strooks	800 m
3-strooks	1-strooks	4-strooks	3-strooks	2-strooks ^T	800 m
3-strooks	2-strooks ^T	4-strooks	3-strooks	1-strooks	850 m
3-strooks	2-strooks	5-strooks	4-strooks	1-strooks	1.000 m
3-strooks	2-strooks	5-strooks	4-strooks	2-strooks	800 m
3-strooks	2-strooks	5-strooks	4-strooks	2-strooks ^T	800 m
4-strooks	1-strooks	5-strooks	3-strooks	2-strooks	1.000 m
4-strooks	1-strooks	5-strooks	4-strooks	2-strooks	800 m
4-strooks	1-strooks	5-strooks	4-strooks	2-strooks ^T	800 m
4-strooks	2-strooks ^T	5-strooks	4-strooks	1-strooks	850 m
4-strooks	2-strooks	6-strooks	5-strooks	1-strooks	1.000 m
4-strooks	2-strooks	6-strooks	5-strooks	2-strooks	800 m
4-strooks	2-strooks	6-strooks	5-strooks	2-strooks ^T	800 m
4-strooks	2-strooks	6-strooks	3-strooks	3-strooks	1.000 m
5-strooks	1-strooks	6-strooks	4-strooks	2-strooks	1.300 m
5-strooks	1-strooks	6-strooks	5-strooks	2-strooks	1.300 m
5-strooks	1-strooks	6-strooks	5-strooks	2-strooks ^T	1.300 m
5-strooks	2-strooks ^T	6-strooks	5-strooks	1-strooks	1.300 m

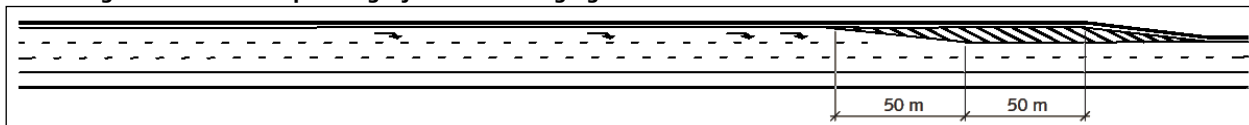
^T Vormgeving met taperende rijstrook, alleen (bij uitzondering) toe te passen bij convergentie / divergentie van ongelijkwaardige verkeersstromen.

6.7

Strookbeëindiging

Een rijstrookbeëindiging is de reductie van het aantal rijstroken door aan de linkerzijde van de rijbaan één rijstrook te laten eindigen. De richtlijnen die gelden voor het toepassen van een rijstrookbeëindiging zijn beschreven in paragraaf 4.6.9.

afbeelding 6.16 Standaardoplossing rijstrookbeëindiging



Een rijstrookbeëindiging wordt vormgegeven middels een afstreping. Deze afstreping bestaat uit (zie ook de 'Richtlijnen voor de bebakening en markering van wegen' CROW 207):

- configuratieborden;
- verdrijfpijlen;
- verdrijfstrepen;
- strookvermindering.

tabel 6.20 Dimensionering rijstrookbeëindiging

Type rijbaan		lengte rijstrookvermindering	lengte verdrijfstrepen op volle breedte
Hoofdbaan	Standaard maat	50 m	50 m
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	50 m	50 m
	90 km/u	35 m	25 m
	70 km/u		
	50 km/u		

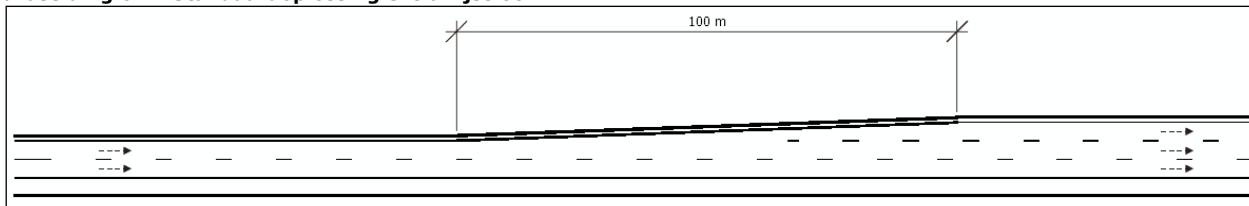
De rijstrookbeëindiging dient zodanig ontworpen te worden, dat:

- het einde van de afstreping tijdig zichtbaar is, gegeven het alignement en de inrichting en uitrusting van de weg (zie paragraaf 5.1.6);
- de opeenvolgende verdrijfpijlen en de aanzet van de afstreping volledig te overzien zijn, zodat een zojuist ingezette inhaalmanoeuvre comfortabel voltooid kan worden (zie paragraaf 5.1.6);
- de linkerrijstrook uit veiligheidsoverwegingen ook feitelijk fysiek eindigt, om te voorkomen dat bestuurders die met de situatie bekend zijn over de wegmarkering heen rijden in plaats van op de daartoe bestemde plaats van rijstrook wisselen.

6.8 Extra rijstrook

Een extra rijstrook is de uitbreiding van het aantal rijstroken. Deze rijstrook wordt aan de linkerzijde van de rijbaan toegevoegd. De richtlijnen die gelden voor het toepassen van een extra rijstrook zijn beschreven in paragraaf 4.6.10.

afbeelding 6.17 Standaardoplossing extra rijstrook



Extra rijstroken op autosnelwegen worden altijd aan de linkerzijde toegevoegd (ook bij kruipstroken), omdat deze een betere benutting hebben dan extra rijstroken aan de rechterzijde.

Alleen stroomopwaarts van divergentiepunten en op eenstrooks rechts toeleidende rijbanen van weefvakken is het toegestaan een extra rijstrook aan de rechterzijde toe te passen.

tabel 6.21 Dimensionering verbreding met extra rijstrook voor alle rijbanen

lengte wigvormig gedeelte
100 m

De situering van het begin van de extra rijstrook moet zodanig zijn, dat de extra rijstrook voldoende is gevuld op het punt dat de daadwerkelijke capaciteitsuitbreiding noodzakelijk is. De benodigde afstand tot het naderende convergentie- of divergentiepunt is te bepalen op basis van de benodigde bewegwijzeringsafstanden. Met name bij een extra rijstrook voorafgaand aan een divergentiepunt is een grote lengte voor goede bewegwijzering nodig.

De extra rijstrook zelf wordt ontworpen als standaard rijstrook. Alleen in geval van bufferstroken is het toegestaan deze als tijdelijke rijstrook te dimensioneren. Hiervoor wordt verwezen naar de Richtlijn 'Ontwerp en Inrichting Spitsstroken', april 2013.

7 Aankleding

Aankleding van rijbanen is het geheel aan aanvullende voorzieningen ter bevordering van de verkeersveiligheid, het wegbeeld, het managen van het verkeer en de oriëntatie van de weggebruiker. Per tracé wordt indien van toepassing zoveel mogelijk vergelijkbare (herkenbare) aankleding toegepast. Te onderscheiden zijn:

- afschermingsvoorzieningen;
- bewegwijzering, bebording en bebakening;
- openbare verlichting;
- voorzieningen ten behoeve van dynamisch verkeersmanagement (DVM-voorzieningen);
- geluidsreducerende constructies.

Het aspect beplanting valt buiten de wegontwerpopgave, en wordt daarom in dit document buiten beschouwing gelaten. Het realiseren van eventuele beplanting dient wel in samenhang met het wegontwerp te worden uitgevoerd. Andere dan bovengenoemde voorzieningen zijn binnen het dwarsprofiel niet toegestaan.

De bovengenoemde voorzieningen kunnen van invloed zijn op de breedte van het benodigde dwarsprofiel en zodoende op het ruimtebeslag van de weg. Hierdoor is het van belang om de aankleding al vroeg in het ontwerpproces mee te nemen.

Naast de invloed op de breedte van het dwarsprofiel zijn de genoemde voorzieningen eveneens van invloed op het wegbeeld en de beschikbare zichtlengte voor bestuurders. Zodoende dient de aankleding van de weg te worden meegenomen in de visualisatie om vast te stellen of de beeldkwaliteit voldoende is.

Veel van de bovenstaande voorzieningen hebben ook een relatie met de inpassing van kabels, leidingen en riolering. Hiermee dient bij het ontwerp van het dwarsprofiel rekening gehouden te worden, met name bij de voorzieningen die een directe relatie hebben met de ondergrondse infrastructuur (openbare verlichting, DVM-voorzieningen).

Aankleding is een onderdeel van de totale weginrichting. Weginrichting is daarmee een breder begrip dan aankleding, omdat het bij weginrichting ook kan gaan om vormgevingsaspecten van de weg zelf. Weginrichtingsaspecten, niet zijnde aankleding, hebben geen directe relatie met het wegontwerp en zijn daarom buiten beschouwing gelaten in deze Richtlijn.

7.1 Afschermingsvoorzieningen

Afschermingsvoorzieningen zijn voorzieningen die worden toegepast om voertuigen te beschermen tegen obstakels naast de rijbaan (primair binnen de obstakelvrije zone) door deze af te schermen. Wanneer afschermingsvoorzieningen worden toegepast, heeft dit een direct gevolg voor de inrichting van de naast de rijbaan gelegen bermen en zodoende het ontwerp van het dwarsprofiel (zie paragraaf 5.4). Voor meer informatie wordt verwezen naar ROA Veilige Inrichting van Bermen.

7.2 Bewegwijzering, bebording en bebakening

De onderdelen bewegwijzering, bebording en bebakening zijn geen op zichzelf staande voorzieningen. Om een onsamenhangend geheel te voorkomen, dienen ze in combinatie met markering integraal te worden ontworpen en in contracten te worden afgestemd.

7.2.1 *Bewegwijzering*

Bewegwijzering is het geheel van visuele middelen dat op, langs of boven de weg is aangebracht om de weggebruikers in staat te stellen hun route te bepalen. Het doel van bewegwijzering is het met de grootst mogelijke zekerheid geleiden van een bestuurder naar zijn bestemming middels visuele middelen. Bewegwijzering wordt toegepast ter plaatse van discontinuïteiten waar de bestuurder van rijbaan kan wisselen.

functies

Bewegwijzering heeft de volgende functies:

- het informeren van weggebruikers over weggebonden bestemmingen;
- het bieden van oriëntatie aan weggebruikers;
- het informeren van weggebruikers over de plaats waar ze zich bevinden.

aspecten

De aangeboden informatie moet door de weggebruiker gelezen, verwerkt en in actie omgezet kunnen worden, zonder dat hij snelheid hoeft te verminderen. Bij nadering van een actiepoint heeft de weggebruiker tijd nodig om voor te sorteren. Daarom worden meerdere voorwegwijzers voor de afslaan richting geplaatst, met een afstands aanduiding tot het actiepoint. Bewegwijzering heeft zodoende een sterke relatie met de inpassing in het alignement van een weg.

Voor de eisen vanuit bewegwijzering wordt verwezen naar de 'Richtlijn Bewegwijzering 2014' en de 'Handreiking bewegwijzeringsschema's'.

7.2.2 *Bebording*

Bebording is het geheel aan verkeersborden zoals gedefinieerd in het Reglement verkeersregels en verkeerstekens (1990).

functies

Bebording heeft de volgende functies:

- het markeren van een actiepoint;
- het afdwingen van of aandringen tot bepaald rijgedrag;
- het informeren over het wegverloop of over de omgeving.

aspecten

Bebording wordt zowel in continue situaties als ter plaatse van discontinuïteiten toegepast. Bebording heeft een beperkte relatie met het dwarsprofiel, maar een sterke relatie met de inpassing in het alignement. Bij het ontwerp van het alignement dient rekening gehouden te worden met de inpassing van de noodzakelijke bebording. Voor meer informatie over bebording wordt verwezen naar het Reglement verkeersregels en verkeerstekens.

7.2.3 *Bebakening*

Bebakening is het samenstel van de op, in, boven en terzijde van de verharding aangebrachte verkeerstekens en -voorwerpen, die dienen ter geleiding, waarschuwing, regeling en beveiliging van het verkeer.

Enkele voorbeelden van bebakening zijn:

- hectometerborden;

- reflectoren:
 - . reflectorpalen;
 - . bochtreflectorpalen;
 - . wegdekreflectoren;
- bochtschilden;
- waarschuwborden;
- (achtergrond)beplanting;
- aarden wallen;
- voorzieningen tegen verblinding;
- etc.

functies

Bebakening heeft de volgende functies:

- verbeteren van de herkenbaarheid van het wegverloop;
- verhogen van het attentieniveau van de weggebruiker.

Voor voorzieningen tegen verblinding door tegenliggers dient opgemerkt te worden dat deze altijd toegepast dienen te worden wanneer er geen duidelijk scheidende elementen aanwezig zijn tussen twee parallel gelegen rijbanen (ook onderliggende wegen).

aspecten

Bebakening wordt toegepast wanneer bebording en markering de verkeersveiligheid en/of begrijpelijkheid niet (onder alle omstandigheden) voldoende kunnen waarborgen. Het toepassen van bebakening dient daarom altijd in samenhang met bebording en markering te worden beschouwd.

Bij de plaatsbepaling van bebakening is de plaatsbepaling van bewegwijzering en bebording leidend. De plaatsbepaling van bebakening wordt zodoende gebaseerd op de gegeven locatie van bewegwijzering en bebording. De aspecten van bebakening zijn beschreven in de 'Richtlijnen voor de bebakening en markering van wegen'.

7.2.4 *Openbare verlichting*

Openbare verlichting is het middels lampen verlichten van een weg. Op snelwegen wordt verlichting toegepast in situaties met een hogere rijtaakcomplexiteit, om hiermee de veiligheid en doorstroming te verbeteren.

7.3 **functies**

De primaire functies van openbare verlichting zijn:

- het bevorderen van de verkeersveiligheid door het verlichten van de weg;
- het verbeteren van de verkeersdoorstroming door het verlichten van de weg²⁴.

De verkeersveiligheid wordt op de volgende wijzen bevorderd:

- het ondersteunen in de rijtaak door verbeterde zichtbaarheid te bieden in situaties van complexe rijtaak en/of wegbeeld;
- het ondersteunen in de rijtaak door middels geleiding het inschatten van het wegverloop te vereenvoudigen;
- het verhogen van het rijcomfort en daarmee het verlagen van de rijtaakcomplexiteit.

²⁴ Voor de relatie tussen openbare verlichting en de capaciteit van een weg wordt verwezen naar het Handboek CIA.

aspecten

De plaatsbepaling van openbare verlichting heeft een sterke relatie met de inrichting van het dwarsprofiel. Bij een plaatsing in de middenberm dient niet alleen ruimte gereserveerd te worden voor de verlichtingsvoorzieningen, maar tevens voor de hierdoor extra benodigde ruimte voor afschermingsvoorzieningen. Ook voor de zijberm gelden soortgelijke afwegingen. Verder moet ook aandacht geschonken worden aan de inpassing van (rand)aspecten als kabels en leidingen.

De ontwerper dient altijd nut en noodzaak van openbare verlichting op basis van de vigerende richtlijnen te onderzoeken (ROA Verlichting). Voor de vormgeving en inrichting wordt verwezen naar de Nederlandse praktijkrichtlijn Openbare verlichting.

7.4

DVM-voorzieningen

DVM-voorzieningen zijn alle voorzieningen ten behoeve van wegsignalering en wegmonitoring. Enkele voorbeelden van voor het wegontwerp relevante DVM-voorzieningen zijn:

- signaalgevers;
- portalen;
- DVM-kasten;
- detectielussen;
- bijzondere borden;
- verkeerslichten;
- bruglichten;
- slagbomen;
- hoogtedetectie;
- TV-camera's.

functies

DVM-voorzieningen hebben de volgende functies:

- beheersen van de verkeersstromen;
- vereenvoudigen van onderhoud;
- verzamelen van statistische gegevens betreffende het verkeer.

aspecten

DVM-voorzieningen hebben een zeer sterke relatie met het ontwerp van het dwarsprofiel en het alignement. Zo dienen de portalen voor verkeerssignalering ingepast te worden in het dwarsprofiel. Ook zijn er eisen aan de plaatsing van deze portalen in het alignement in relatie tot discontinuïteiten. Verder moet ook aandacht geschonken worden aan de inpassing van (rand)aspecten als kabels en leidingen.

Voor de aspecten van DVM-voorzieningen wordt verwezen naar de 'Verkeerskundig Kader DVM Systemen' en naar de 'Richtlijn plaatsbepaling DRIPs'.

7.5

Geluidsreducerende constructies

Geluidsreducerende constructies zijn voorzieningen tussen een weg en een aangrenzend gebied om te voorkomen dat het van de weg afkomstige geluid het gebied in volle omvang bereikt.

De volgende hoofdvormen worden onderscheiden:

- geluidsschermen;
- stapelconstructies;
- aarden wallen.

Geluidsschermen zijn veelal wandvormige constructies bestaande uit constructie-elementen, zoals stijlen en regels, waartussen geluidsbeperkende elementen zijn aangebracht.

Stapelconstructies zijn constructies die zijn samengesteld uit gestapelde elementen waartussen of waarin grond of een ander vulmateriaal is aangebracht waarop begroeiing mogelijk is.

Aarden wallen zijn constructies bestaande uit een kern van grond/zand of een ander vulmateriaal, afgedekt met een laag grond waarop begroeiing mogelijk is.

functies

Geluidsreducerende constructies hebben de volgende functie:

- verminderen van de geluidshinder van autosnelwegverkeer voor de omgeving.

aspecten

Geluidsbeperkende constructies hebben een duidelijke relatie met vooral het ontwerp van het dwarsprofiel. De constructies hebben een significant ruimtebeslag, en dienen veelal afgeschermd te worden en kunnen zichtbelemmerend werken. Voor de vormgeving en inrichting van geluidsreducerende constructies wordt verwezen naar de 'Richtlijnen Geluidsbeperkende Constructies langs Wegen'.

8 Overkappingen en verdiepte liggingen

Ten aanzien van overkappingen en verdiepte liggingen gelden minimaal de standaard ontwerpwaarden voor standaard wegvakken. Dit komt (onder andere) tot uiting in:

- het minimaal toepassen van standaard horizontale en verticale boogstralen, waarbij in ieder geval aan de zichtcriteria wegverloopzicht en stopzicht voldaan dient te worden;
- het toepassen van vluchtstroken en rijstroken op normale breedtes;
- het toepassen van een standaardvormgeving van discontinuïteiten (hoofdstuk 6);
- het uitgaan van een standaard perceptiereactietijd en standaard wrijvingscoëfficiënten.

Voor overkappingen en verdiepte liggingen zijn ten opzichte van standaard wegvakken enkele aanvullende aandachtspunten van toepassing. Het betreft hier de volgende onderwerpen, die in het navolgende paragrafen verder zijn toegelicht:

- afstand tot wanden;
- verticale holle bogen;
- wegbeeld.

In de volgende paragrafen staan bovenstaande aandachtspunten nader beschreven.

8.1 Afstand tot wanden

De afstand tussen de buitenste rijstrook (zowel links als rechts) en een wand moet over de gehele lengte van de wand constant zijn, waarbij de afstand links niet gelijk hoeft te zijn met de afstand rechts. Dit is van belang om misleiding te voorkomen.

8.2 Verticale holle bogen

In overkappingen gelden specifieke eisen aan verticale holle bogen.

Bij holle bogen in overkappingen is in afwijking van standaard wegvakken de benodigde zichtlengte het maatgevende dimensioneringscriterium. De in een holle boog gelegen weg kan immers verdwijnen achter het plafond van de tunnel, in combinatie met eventuele objecten als signalering, bewegwijzering en installaties.

Maatgevend is een vrachtwagen, omdat dit voertuig de grootste ooghoogte heeft. De minimale boogstraal van de bolle boog wordt bepaald met behulp van de volgende formule:

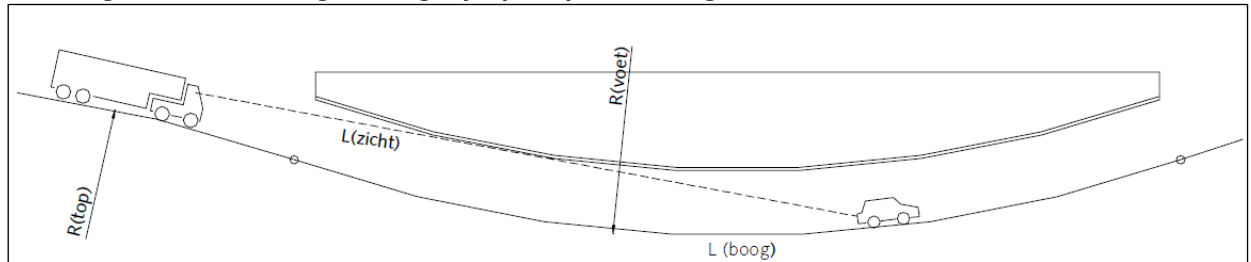
$$R_{v,min} = \frac{(L_z)^2}{2 * (\sqrt{h_t - h_o} + \sqrt{h_t - h_h})^2}$$

Hierin is (zie ook afbeelding 8.1):

- L_z : zichtlengte (m);
- $R_{v,min}$: minimale verticale boogstraal holle boog (m);
- h_t : hoogte van het zichtbelemmerende object boven het wegdek (m);²⁵
- h_o : ooghoogte van de vrachtwagenbestuurder (2,50 m);
- h_h : hoogte van het waar te nemen object (m).

²⁵ Hiervoor wordt het PvR aangehouden, omdat hierbuiten zichtbelemmerende objecten toegepast mogen worden.

afbeelding 8.1. Schematisering zichtlengte (stopzicht) in holle boog*



* Het betreft hier een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid.

Voor de maatgevende zichtlengte worden de minimaal benodigde lengtes voor stopzicht gebruikt; wegverloopzicht is niet maatgevend boven stopzicht. De bovenstaande formule houdt geen rekening met wegbeeldeisen. Er dient daarom nagegaan te worden of bij toepassing van deze boogstralen geen onwenselijk wegbeeld ontstaat. Bij het bepalen van holle bogen worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- berekening stopzichtlengte op basis van 'natte wrijvingscoëfficiënt', zoals bij standaard wegvakken;
- bij 70 km/u en 50 km/u zijn voor de grootte van de verticale boogstraal de comforteisen maatgevend boven de zichteisen, zie paragraaf 5.3.3.

Bovenstaande formule gaat uit van situaties waarbij de lengte van de holle boog groter is dan de benodigde zichtlengte. Veelal gaat het dan om ondiep gelegen overkappingen, bestaande uit een aaneenschakeling van topboog-voetboog-topboog (bol-hol-bol). In geval de tussenkomst van een verticale helling, waardoor de lengte van de holle boog doorgaans kleiner wordt dan de benodigde zichtlengte. Bovenstaande rekenmethode is dan wel toepasbaar, maar leidt tot overgedimensioneerde boogstralen. Om te controleren of er sprake is van aanzienlijke overdimensionering, kan de bepaling van de zichtlengte grafisch (met gebruik van software) geschieden.

8.3 Wegbeeld

Ten aanzien van het wegbeeld bij overkappingen en verdiepte liggingen dient er extra aandacht te zijn voor de volgende onderwerpen:

1. Bewegwijzering
2. Verlichting
3. Hemelwater
4. Licht-donker overgangen

Ad 1 Bewegwijzering

Bij overkappingen (en met name bij Dicht Open Dicht Open (DODO) constructies) is het noodzakelijk de zichtbaarheid van de bewegwijzering te toetsen.

Ad 2 Verlichting

Ten aanzien van verlichting gelden de eisen uit de ROA Verlichting. De inpassing van verlichting vereist bij overkappingen en verdiepte liggingen extra aandacht in relatie tot een goed wegbeeld.

Ad 3 Hemelwater

Met name bij DODO constructies moet rekening worden gehouden met het opvangen van hemelwater in de open delen om te zorgen dat hier geen plasmvorming optreed.

Ad 4 Licht-donker overgangen

Met name bij DODO constructies, maar ook bij overkappingen, moet op basis van de NSVV aanbeveling "verlichting van tunnels en onderdoorgangen" en een Human Factors analyse worden nagegaan of overdag verlichting nodig is (aanvullend op de openbare verlichting).

9 Tunnels

Dit hoofdstuk is van toepassing op een gesloten constructie met een minimale lengte van 250 m en wordt hier een tunnel genoemd. Tunnels zijn bijzondere delen in een wegvak, omdat een tunnelingang of -uitgang in de beleving van de weggebruiker een onderbreking in het wegbeeld is, (en) vanwege de/het afwijkende:

- lichtomstandigheden;
- zichtbeperkende objecten;
- (openheid) wegbeeld;
- langshelling.

In tunnels is sprake van een hoger verkeersveiligheidsrisico²⁶. De volgende aspecten liggen hieraan ten grondslag:

- weggebruikers ervaren een hogere rijtaakbelasting vanwege de bovengenoemde afwijkingen;
- vanwege de aanwezigheid van verticale hellingen ontstaan er (grotere) verschillen in de snelheid, wat tot een minder homogeen verkeersbeeld (turbulentie) leidt;
- vanwege de gesloten constructie kunnen de gevolgen van een incident ernstiger zijn, ingeval van brand of het vrijkomen van gevaarlijke stoffen.

Vanwege het hogere verkeersveiligheidsrisico als gevolg van de aanwezigheid van de tunnelconstructie, is elk aanvullend verkeersveiligheidsrisico (als gevolg van het wegontwerp) zeer ongewenst. Daarom wordt in tunnels minimaal een gelijkwaardige inrichting voorgeschreven als voor standaard wegvakken. Dat wil zeggen een inrichting zoals omschreven in de hoofdstukken 5 en 6 in combinatie met compenserende maatregelen voor de effecten die optreden als gevolg van de tunnelconstructie. De uitzondering hierop is, dat volgens landelijk beleid geen vluchtstroken worden toegepast in tunnels.

In het onderstaande wordt nader ingegaan op de overeenkomsten en verschillen tussen tunnels en standaard wegvakken. In paragraaf 8.2 wordt vervolgens aangegeven welke aanvullende aspecten meespelen bij het wegbeeld in en rond tunnels.

9.1 Overeenkomsten tussen tunnels en standaard wegvakken

Vanwege het hogere verkeersveiligheidsrisico dienen in tunnels minimaal de standaard ontwerpwaarden als voor standaard wegvakken te worden toegepast. Dit komt (onder andere) tot uiting in:

- het minimaal toepassen van standaard horizontale en verticale boogstralen, waarbij in ieder geval aan de zichtcriteria wegverloopzicht en stopzicht voldaan dient te worden;
- het toepassen van een standaardvormgeving van discontinuïteiten (hoofdstuk 6);
- het uitgaan van een standaard perceptiereactietijd en standaard wrijvingscoëfficiënten.

9.2 Verschillen tussen tunnels en standaard wegvakken

Voor tunnels zijn ten opzichte van standaard wegvakken enkele aanvullende aandachtspunten van toepassing. Het betreft hier de volgende onderwerpen, die in het navolgende van deze paragraaf verder zijn toegelicht:

²⁶ Dit betreft in feite het domein van de tunnelveiligheid, dat er op gericht is de extra veiligheidsrisico's voor de weggebruiker ten opzichte van de open weg te beheersen. Een veilige tunnel begint altijd bij een goede verkeersveiligheid. Aanvullend worden tal van veiligheidsvoorzieningen aangebracht in een tunnel om de gevolgen van een ongeval zoveel mogelijk te beperken (ventilatie, vluchtdeuren e.d.).

- dwarsprofiel: in tunnels gelden aanvullende/afwijkende eisen voor de maatvoering en inrichting van het dwarsprofiel;
- zichtlengte: strengere eisen aan wegverloopzicht, afwijkende eisen aan anticipatiezicht;
- horizontale bogen: de tunnelwand en/of de afschermingsvoorziening vormen een continue zichtbeperkend object, waarop bij de dimensionering van horizontale bogen getoetst moet worden;
- verticale holle bogen: het tunnelplafond in combinatie met tunnelsystemen/-installaties vormt een continue zichtbeperkend object, waarop bij de dimensionering van verticale bogen getoetst moet worden;
- langshelling en verticale rechtstand: grote hellingspercentages zijn niet toegestaan;
- profiel van vrije ruimte: in tunnels hoeft geen rekening gehouden te worden met een overlappingsmarge. Wel is er een raakvlak met tunnelinstallaties en -systemen;
- convergentie- en divergentiepunten: er worden in en rond tunnels specifieke eisen gesteld aan de locatie van convergentie- en divergentiepunten;
- afschermingsvoorzieningen: in tunnels worden bij voorkeur barriers toegepast.

In deze paragraaf staan bovenstaande aandachtspunten nader beschreven.

9.2.1

Dwarsprofiel

In tunnels gaat extra aandacht uit naar de rijbaanbreedte, de afstand tot de tunnelwand, ruimtereservering voor extra capaciteit en het omgaan met tegenverkeer.

Rijbaanbreedte

In tunnels gelden afwijkende eisen voor de rijbaanbreedte (zie paragraaf 5.4.2). In het Bouwbesluit 2012 is sprake van een maat van 7,00 m voor de constructieve vloer. Dit is de maat tussen de wanden dus bijvoorbeeld inclusief de vloer onder de barriers. Uitgaande van een breedte van de barriers van 0,30m (halve barrier tegen de wand) komt de minimumrijbaanbreedte daarmee op $7,00 - 2 \times 0,30 = 6,40$ m.

Voor meerstrooks rijbanen geldt geen minimum.

tabel 9.1. Minimale rijbaanbreedte tunnels alle typen rijbanen

rijbaanbreedte
6,40 m

Vluchtstrook

In bediende tunnels worden conform de beleidsrichtlijn geen vluchtstroken en vluchthavens toegepast ²⁷. Wel wordt een redresseerstrook rechts toegepast.

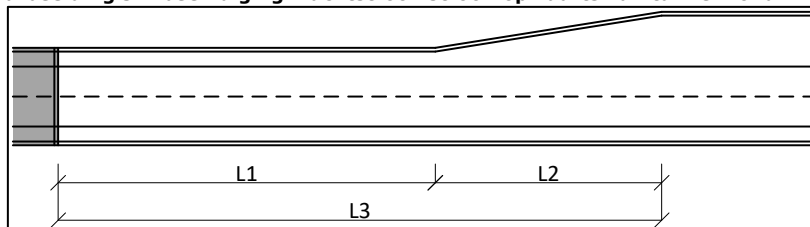
In onbediende tunnels wordt wel een vluchtstrook toegepast, met een breedte van 3,15m (gemeten vanaf buitenkant kantstreep). Dit is de minimumbreedte zoals aangegeven in paragraaf 5.4.4.

²⁷ Bediening is wettelijk verplicht vanaf een tunnallengte van 500m. Uit het oogpunt van veiligheid is het toepassen van een vluchtstrook in bediende tunnels niet noodzakelijk, omdat andere voorzieningen in de tunnel zorg dragen voor een veilige incidentafhandeling. Bij kleine incidenten worden een of meer rijstroken afgesloten en bij grote incidenten worden minimaal twee verkeersbuizen afgesloten, opdat de hulpverleningsdiensten het incident via de veilige verkeersbuis (de buis naast de incidentbuis) kunnen benaderen.

Beëindiging vluchtstrook stroomopwaarts van tunnelmond

De nadering van de tunnelmond is een zware rijtaak in verband met licht/donker overgangen en de visuele vernauwing. Het wegbeeld dient hier op afgestemd te worden. Daarom worden er eisen gesteld aan de beëindiging van de vluchtstrook en de vernauwing van het dwarsprofiel stroomopwaarts van de tunnelmond. In afbeelding 9.1 en tabel 9.2 zijn de standaard maten opgenomen.

afbeelding 9.1 beëindiging vluchtstrook stroomopwaarts van tunnelmond



tabel 9.2 maatvoering beëindiging vluchtstrook stroomopwaarts van tunnelmond alle typen rijbanen

Lengte gelijkblijvende breedte tussen de wanden (L1)	Hoek insnoering wand (L2)	Lengte tussen tunnelmond en einde vluchtstrook (L3)
100 m	minimaal 1:20	L1 + L2

Aandachtspunten bij de beëindiging van de vluchtstrook stroomopwaarts van de tunnelmond zijn:

- 100 meter voor de tunnelingang dient het dwarsprofiel gelijk te blijven ten behoeve van een rustig wegbeeld richting de tunnelmond (weggebruikers zijn in deze afstand volledig gefocust op de tunnelingang);
- de geleiding van het wegverloop richting de tunnelmond dient middels een wegbeeldanalyse getoetst te worden, zie paragraaf 5.6, en kan aanleiding geven af te wijken van bovenstaande maatvoering;
- de beëindiging van de vluchtstrook dient vormgegeven te worden conform richtlijn Bebakening en Markering (CROW publicatie 207). Tevens dient de beëindiging te worden ondersteund door middel van sergeantstrepen tussen eind vluchtstrook en wand;
- de beëindiging van de vluchtstrook dient ook in samenhang met de locatie van de afsluitbomen bepaald te worden t.b.v. toegang tot de tunnel voor hulpdiensten.

Opbouw vluchtstrook stroomafwaarts van tunneleinde

Stroomafwaarts van de tunnel dient de vluchtstrook zo snel mogelijk te worden opgebouwd naar de volledige breedte.

Obstakelafstand

In een tunnel mogen afwijkende maten worden aangehouden (ten opzichte van tabel 5.23 in paragraaf 5.4.1) voor de obstakelafstand tot de barrier c.q. geleideconstructie.

tabel 9.3 Horizontale objectafstanden in tunnels

Type rijbaan		ontwerpvoertuig	Objectafstand (binnenkant kantstreep tot barri�r c.q. geleideconstructie)
Hoofdbaan	Standaard maat	personenauto	1,00 m
		Vrachtauto	1,00 m
Niet hoofdbaan op basis van ontwerpsnelheid	120 km/u	personenauto	1,00 m
		vrachtauto	1,00 m
	90 km/u	personenauto	1,00 m
		vrachtauto	1,00 m
	70 km/u	personenauto	0,60 m
		vrachtauto	0,60 m
	50 km/u	personenauto	0,50 m
		vrachtauto	0,50 m

Afstand tot de tunnelwand

De afstand tussen de buitenste rijstrook (zowel links als rechts) en de tunnelwand moet over de gehele tennellengte constant zijn. Dit is van belang om misleiding te voorkomen.

Ruimtereservering extra capaciteit

Bij het ontwerp van een tunnel dient de ontwerper na te gaan in hoeverre er ruimte gereserveerd moet worden voor een toekomstig extra rijstrook (reserveringsstrook). Anders dan voor standaard wegvakken geldt voor tunnels dat een keuze voor een rijbaanbreedte in principe onherroepelijk is. Een reserveringsstrook kan als vluchtstrook worden gebruikt zolang de reserveringsstrook nog niet als rijstrook in gebruik is genomen.

Tegenverkeer

Tweerichtingsverkeer in één tunnelbuis is wettelijk gezien alleen in bijzondere omstandigheden toegestaan, onder strikte voorwaarden (Bouwbesluit 2012, artikel 6.45).

9.2.2**Zichtlengte**

In tunnels gelden op het gebied van zichtlengte twee afwijkingen ten opzichte van standaard wegvakken:

- wegverloopzicht mag niet onderbroken worden;
- er hoeft niet voldaan te worden aan anticipatiezicht, behalve bij discontinuïteiten en bij de tunnelmond.

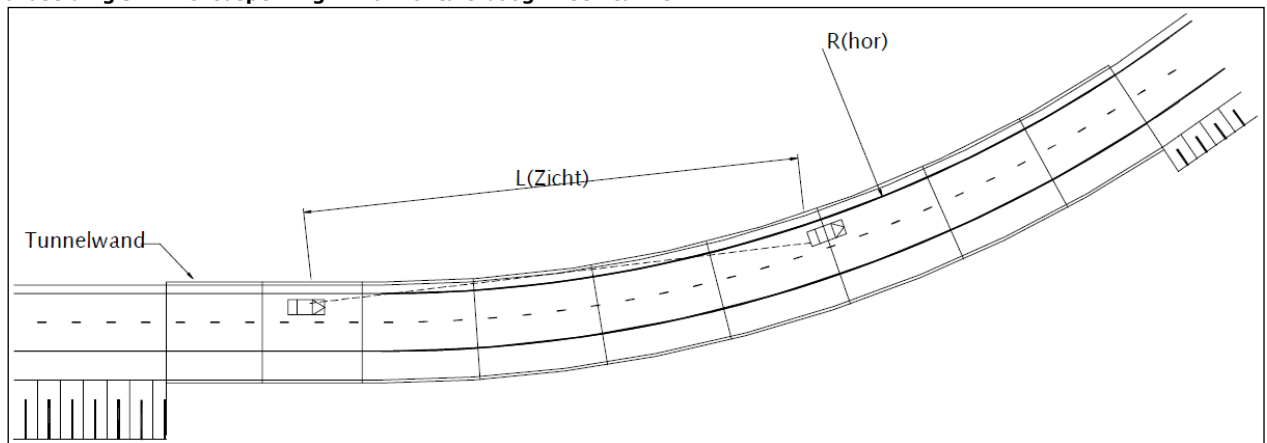
Bij standaard wegvakken is het in uitzonderingsgevallen toegestaan dat het wegverloopzicht gedurende 2 rijseconden afwezig is. In tunnels is dit niet toegestaan.

Bij het wegontwerp in tunnels dient evenals bij standaard wegvakken voldaan te worden aan de minimale lengtes voor stopzicht en wegverloopzicht. Bij voorkeur wordt ook voldaan aan anticipatiezicht, maar buiten discontinuïteiten is dit geen vereiste. Anticipatiezicht heeft immers meer met comfort te maken. Bovendien is anticipatiezicht in tunnels minder relevant, omdat de tunnelconstructie reeds zorgt voor een goede geleiding van de weggebruiker.

9.2.3 Horizontale bogen

Omdat er in tunnels met de wandconstructie en/of barrier een continue zichtbeperkend element aanwezig is, dient bij het ontwerp van een horizontale boog altijd gecontroleerd te worden of de benodigde zichtlengte aanwezig is (zie afbeelding 9.2). Onderstaande berekeningsprincipes kunnen ook gebruikt worden bij horizontale bogen op of nabij bruggen/viaducten, en bij krappe bogen in verbindingswegen met zichtbeperkende elementen.

afbeelding 9.2. Zichtbeperking in horizontale boog in een tunnel



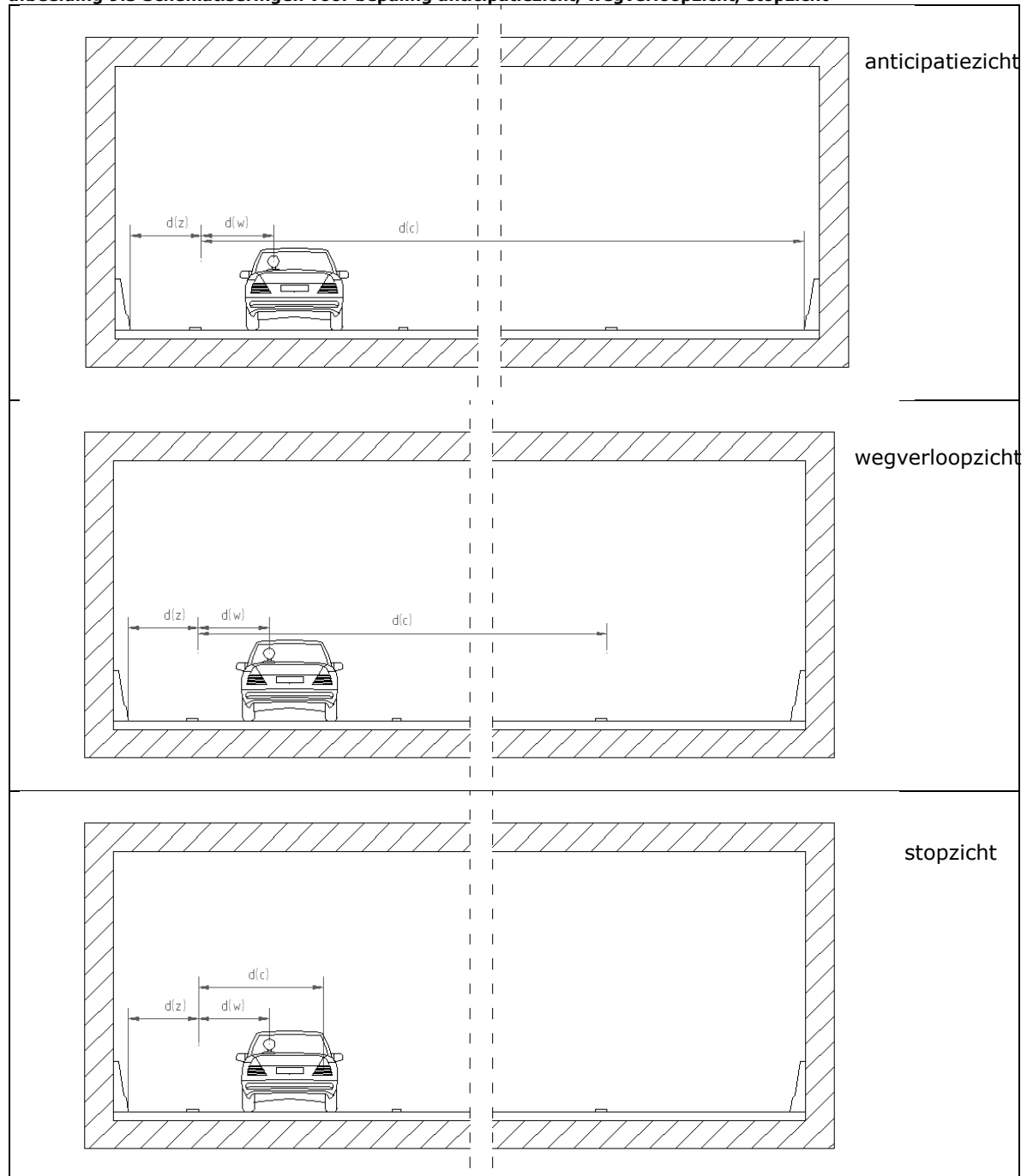
Bij de bepaling van de minimale horizontale boogstraal gelden dezelfde uitgangspunten voor het zichtpunt en het waarneempunt als bij standaard wegvakken. In afwijking van standaard wegvakken dient in tunnels nagegaan te worden of een vrachtauto niet maatgevend is boven een personenauto voor wat betreft het waarneempunt. In tunnels zijn immers grotere zichtbeperkende objecten aanwezig (tunnelwand). Met name bij discontinuïteiten (met lagere snelheden) kan dit relevant zijn.

De minimale boogstraal wordt als volgt berekend:

$$R_{h,min} = \frac{(L_z)^2}{2 * (\sqrt{d_z + d_w} + \sqrt{d_z + d_c})^2}$$

Hierin is (zie ook afbeelding 9.3):

- L_z : zichtlengte (m);
- $R_{h,min}$: minimale horizontale boogstraal (m);
- d_z : afstand tussen binnenkant kantstreep en zichtbelemmerend object (m);
- d_w : afstand tussen binnenkant kantstreep en waarneempunt bestuurder (m);
- d_c : afstand tussen binnenkant kantstreep en controleobject (m).

afbeelding 9.3 Schematiseringen voor bepaling anticipatiezicht, wegverloopzicht, stopzicht

tabel 9.4 Standaard maatgevende parameters voor de bepaling van horizontale boogstralen

type zicht	d_z	d_w	d_c			
			1 rijstrook	2 rijstroken	3 rijstroken	4 rijstroken
Anticipatiezicht*	1,50 m	1,25 m	7,40 m	10,90 m	14,40 m	17,90 m
wegverloopzicht			3,70 m	7,20 m	7,10 m	7,10 m
stopzicht			2,30 m			

* er hoeft niet voldaan te worden aan anticipatiezicht, behalve bij discontinuïteiten en bij de tunnelmond.

Voor de standaard weginrichting (zie tabel 9.4) worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- hoofdbaan heeft standaard maatvoering;
- bij de bepaling van de afstand tussen binnenkant kantstreep en het zichtbelemmerend object (d_z) is de afschermingsvoorziening als maatgevend zichtbeperkend element aangemerkt en is ervan uitgegaan dat de situatie aan de (standaard) middenbermzijde maatgevend is vanwege de smallere berm en het feit dat de bestuurder links in de auto zit. In afwijkende situaties dient een berekening met een andere waarde voor d_z te worden verricht;
- voertuig op linkerrijstrook in linksdraaiende boog is maatgevend vanwege het feit dat de bestuurder links in de auto zit en omdat de middenbermzijde smaller is vormgegeven;
- berekening stopzichtlengte op basis van 'natte wrijvingscoëfficiënt', zoals bij standaard wegvakken;
- de afstand tussen binnenkant kantstreep en waarneempunt (bestuurder) (d_w) is op basis van een rijstrookbreedte van 3,50 m bepaald. Bij een afwijkende rijstrookbreedte wordt de grootte van d_w in verhouding berekend.

Bij een andere inrichting van het dwarsprofiel zullen andere boogstralen worden aangetroffen; hiertoe dient de berekening te worden uitgevoerd met de van toepassing zijnde dimensies.

Indien een wegvak in een horizontale boog onvoldoende zichtlengte biedt, dient een ruimere boogstraal te worden toegepast. Een alternatief is het vergroten van de afstand tussen het zichtbelemmerende object en de kantstreep door het object verder van de verharding af te plaatsen of door het dwarsprofiel anders in te delen, waarbij in acht moet worden genomen dat de afstand van de buitenste rijstrook tot de tunnelwand over de gehele lengte van de tunnel gelijk dient te blijven om misleiding te voorkomen. Een verlaging van de ontwerpsnelheid is geen optie wanneer dit niet overeenkomt met de aansluitende wegvakken of met de functie van de weg in het netwerk.

9.2.4 Verticaal alignement

In tunnels gelden specifieke eisen aan verticale holle bogen, verticale rechtstanden en hellingspercentages.

verticale bogen

Bij holle bogen in tunnels is in afwijking van standaard wegvakken de benodigde zichtlengte het maatgevende dimensioneringscriterium. De in een holle boog gelegen weg kan immers verdwijnen achter het plafond van de tunnel, in combinatie met eventuele objecten als signalering, bewegwijzering en installaties.

Maatgevend is een vrachtwagen, omdat dit voertuig de grootste ooghoogte heeft. De minimale boogstraal van de bolle boog wordt bepaald met behulp van de volgende formule:

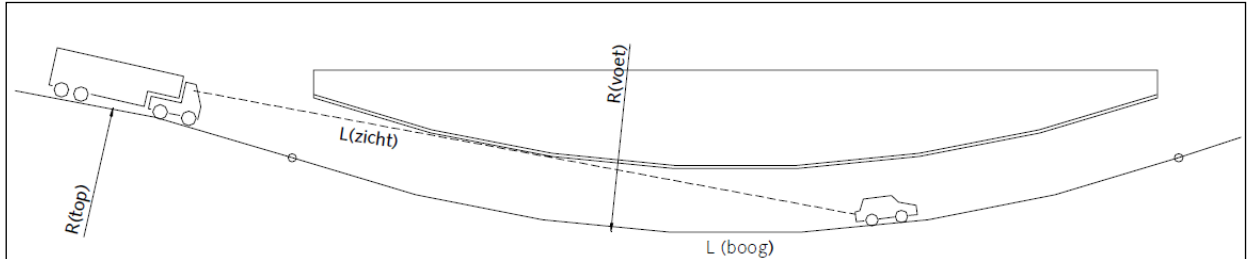
$$R_{v,min} = \frac{(L_z)^2}{2 * (\sqrt{h_t - h_o} + \sqrt{h_t - h_h})^2}$$

Hierin is (zie ook afbeelding 9.4):

- L_z : zichtlengte (m);
- $R_{v,min}$: minimale verticale boogstraal holle boog (m);
- h_t : hoogte van het zichtbelemmerende object boven het wegdek (m);²⁸
- h_o : ooghoogte van de vrachtwagenbestuurder (2,50 m);
- h_h : hoogte van het waar te nemen object (m).

²⁸ Hiervoor wordt het PvR aangehouden, omdat hierbuiten zichtbelemmerende objecten toegepast mogen worden.

afbeelding 9.4 Schematisering zichtlengte (stopzicht) in holle boog*



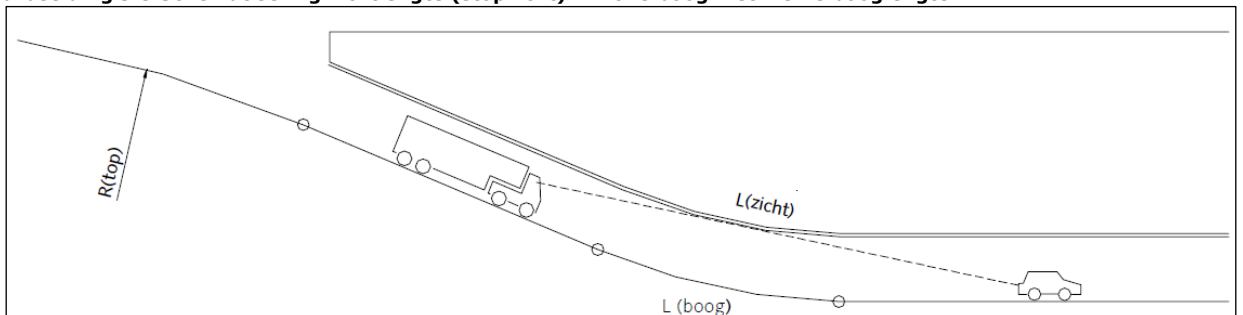
* Het betreft hier een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. In de meeste situaties zal immers niet het tunnelplafond maatgevend zijn voor de zichtlengte, maar de zichtbelemmering als gevolg van de tunnelsystemen / -installaties.

Voor de maatgevende zichtlengte worden de minimaal benodigde lengtes voor stopzicht gebruikt; wegverloopzicht is niet maatgevend boven stopzicht. De bovenstaande formule houdt geen rekening met wegbeeldeisen. Er dient daarom nagegaan te worden of bij toepassing van deze boogstralen geen onwenselijk wegbeeld ontstaat. Bij het bepalen van holle bogen worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- anticipatiezicht is niet maatgevend bij holle bogen in of nabij tunnels;
- berekening stopzichtlengte op basis van 'natte wrijvingscoëfficiënt', zoals bij standaard wegvakken;
- bij 70 km/u en 50 km/u zijn voor de grootte van de verticale boogstraal de comforteisen maatgevend boven de zichteisen, zie paragraaf 5.3.3.

Bovenstaande formule gaat uit van situaties waarbij de lengte van de holle boog groter is dan de benodigde zichtlengte. Veelal gaat het dan om ondiep gelegen tunnels (landtunnels), bestaande uit een aaneenschakeling van topboog-voetboog-topboog (bol-hol-bol). In geval van diepgelegen tunnels is er veelal sprake van de tussenkomst van een verticale helling, waardoor de lengte van de holle boog doorgaans kleiner wordt dan de benodigde zichtlengte (zie afbeelding 9.5). Bovenstaande rekenmethode is dan wel toepasbaar, maar leidt tot overgedimensioneerde boogstralen. Om te controleren of er sprake is van aanzienlijke overdimensionering, kan de bepaling van de zichtlengte grafisch (met gebruik van software) geschieden.

afbeelding 9.5 Schematisering zichtlengte (stopzicht) in holle boog met kleine booglengte*



* Het betreft hier een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. In de meeste situaties zal immers niet het tunnelplafond maatgevend zijn voor de zichtlengte, maar de zichtbelemmering als gevolg van de tunnelsystemen / -installaties.

langshelling en verticale rechtstand

In het gesloten deel van tunnels worden geen langshellingen groter dan 4,5% toegepast.

tabel 9.5 Maximale langshelling en hellinglengte in tunnels voor alle rijbanen

maximaal hellingspercentage	maximale lengte
4,5 %	250 m

Bovendien dient bij opgaande hellingen rekening gehouden te worden met de snelheidsreductie van met name vrachtwagens. Bij toenemende hellingen leidt een snelheidsreductie tot snelheidsverschillen, wat vervolgens tot turbulentie en verkeersonveiligheid leidt. Een snelheidsreductie van 20 km/u leidt tot de noodzaak van een extra (inhaal)strook aan de linkerzijde, die dan reeds voor de tunnel ingezet dient te worden. De resulterende snelheidsterugval dient gecontroleerd te worden, bijvoorbeeld met het softwarepakket SimVra+²⁹.

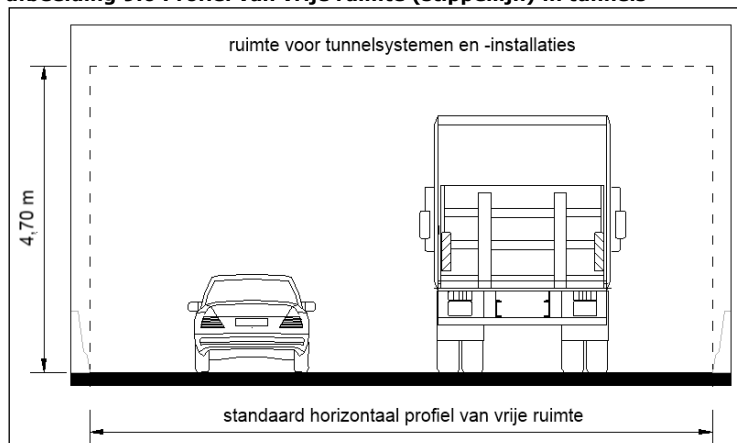
Bij het ontwerp van tunnels dient zodoende extra aandacht uit te gaan naar de capaciteit en de verkeersveiligheid als gevolg van een langshelling, met name bij ongewenste hellingspercentages groter dan 4,5 %³⁰.

9.2.5

Profiel van vrije ruimte

De Landelijke Tunnelstandaard (LTS) gaat uit van een profiel van vrije ruimte met een hoogte van ten minste 4,70m. Indien optiepakket 2 wordt toegepast (hoogtedetectie) staat de LTS toe dat de vrije hoogte wordt verlaagd naar ten minste 4,50m (zie ook Rarvw, artikel 13c). Verkeerskundig gezien heeft een vrije hoogte van 4,70 m sterk de voorkeur, omdat hoogtemeldingen ten koste gaan van de beschikbaarheid van de tunnel c.q. de doorstroming, zeker omdat regelmatig sprake is van valse meldingen, door bijvoorbeeld klapperende dekzeilen. Boven de vrije ruimte komt de benodigde ruimte voor de tunnelsystemen en -installaties. Een en ander staat samengevat in afbeelding 9.6.

afbeelding 9.6 Profiel van vrije ruimte (stippellijn) in tunnels



²⁹ In SimVra+ moet het 85-percentielvoertuig als maatgevend worden aangehouden.

³⁰Wettelijk mag de langshelling van de rijbaanvloer in een nieuwbouwtunnel langer dan 250m niet groter zijn dan 5% (Bouwbesluit 2012, artikel 2.135).

Het profiel van vrije ruimte dient aanwezig te zijn tussen de tenen van de barriers (of de buitenzijde van de geleiderail). Met nadruk wordt opgemerkt dat het verticale profiel van vrije ruimte dus over de volledige rijbaanbreedte aanwezig dient te zijn.

9.2.6 *Convergentie- en divergentiepunten*

Bij het ontwerp van convergentie- en divergentiepunten wordt het document 'Wegontwerp in Tunnels - convergentie- en divergentiepunten in en nabij tunnels' versie 1.1 (Rijkswaterstaat, juli 2008) als Verkeerskundige Afspraak (VKA) gehanteerd. Deze stelt dat bij het ontwerp van convergentie- en divergentiepunten in en rond tunnels de volgende aanpak moet worden gehanteerd:

1. ontwerp de discontinuïteit op voldoende afstand buiten de tunnelmond (dan wel het in- of uitgangsportaal);
2. bij onvoldoende ruimte tussen discontinuïteit buiten tunnel en tunnelmond: onderzoek of het ontwerp kan worden aangepast; indien dat niet mogelijk is: onderzoek of met compenserende maatregelen alsnog een acceptabel veiligheidsniveau verkregen wordt;
3. alleen indien een discontinuïteit buiten de tunnel niet veilig kan worden ontworpen c.q. ruimtelijk niet inpasbaar is: ga na of de discontinuïteit in de tunnel kan worden ontworpen. Hierbij geldt dat niet alleen de minimale afstanden tot de tunnelmonden moeten worden aangehouden, maar altijd ook verdere compenserende maatregelen moeten worden genomen, omdat er sprake is van een hoger risico dan bij een discontinuïteit buiten de tunnel.

In het geval dat compenserende maatregelen vereist zijn, dient een deskundige te beoordelen of en met welke combinatie van maatregelen alsnog een acceptabel ontwerp verkregen kan worden. Het toepassen van compenserende maatregelen hoeft niet altijd te betekenen dat met compenserende maatregelen een convergentie- of divergentiepunt in een tunnel acceptabel is; in bepaalde gevallen kan het effect van compenserende maatregelen onvoldoende zijn, waardoor een configuratie als nog als onacceptabel wordt beoordeeld.

discontinuïteit op voldoende afstand buiten tunnel

Als een convergentie- of divergentiepunt voor of na een tunnel is gepland en op voldoende afstand van de tunnelingang of tunneluitgang (dan wel het in- of uitgangsportaal) is gelegen, waarbij ook aan alle overige ontwerptechnische randvoorwaarden is voldaan, dan is de configuratie acceptabel. Dit betekent dat er geen aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn.

In tabel 9.6 staan de wenselijke afstanden tussen de tunnelmond en de discontinuïteit weergegeven. Deze waarden lijken in lichte mate af te wijken van de zogenoemde "10-secondenregel uit de Europese tunnelrichtlijn (2004-54-EG). De Europese tunnelrichtlijn is echter niet op alle punten duidelijk te interpreteren. Voor de (theoretische) onderbouwing van deze waarden wordt verwezen naar 'Wegontwerp in Tunnels - convergentie- en divergentiepunten in en nabij tunnels', Rijkswaterstaat, juli 2008.

De afstanden worden toegepast ten opzichte van het begin van het gesloten deel van de tunnel, waarbij het lichtrooster **niet** meetelt. Het lichtrooster is bedoeld om de overgang van licht naar donker geleidelijk te laten verlopen (hetzelfde effect kan ook door ingangverlichting worden bereikt).

tabel 9.6 Minimale afstanden tussen discontinuïteit buiten de tunnel en tunnelmond

type	locatie	hoofdbanen*	parallel of rangeerbanen * *	meetpunten***
invoeging	voor de tunnel	575 m (750 m)	430 m (565 m)	puntstuk - tunnelingang
	na de tunnel	180 m	120 m	tunneluitgang - puntstuk
uitvoeging	voor de tunnel	275 m (400 m)	210 m (300 m)	puntstuk - tunnelingang
	na de tunnel	480 m	345 m	tunneluitgang - puntstuk
samenvoeging	voor de tunnel	375 m	285 m	puntstuk - tunnelingang
	na de tunnel	180 m	120 m	tunneluitgang - puntstuk
splitsing	voor de tunnel	275 m (400 m)	210 m (300 m)	puntstuk - tunnelingang
	na de tunnel	900 m	675 m	tunneluitgang - puntstuk
weefvak	voor de tunnel	390 m	295 m	puntstuk - tunnelingang
	na de tunnel	180 m	120 m	tunneluitgang - puntstuk
strookbeëindiging	voor de tunnel	400 m	300 m	einde rijstrook - tunnelingang
	na de tunnel	295 m	205 m	tunneluitgang - eerste aankondiging rijstrookbeëindiging
extra rijstrook****	voor de tunnel	200 m (400 m)	150 m (300 m)	begin extra rijstrook - tunnelingang
	na de tunnel	105 m	65 m	tunneluitgang - begin extra rijstrook

* Tussen haakjes zijn de minimale lengtes weergegeven die van toepassing zijn op tunnels met hellingen (zinktunnels). Bij de samenvoeging en de rijstrookbeëindiging en het weefvak zijn geen specifieke waarden voor zinktunnels aangegeven, omdat de toepassing van andere risicobenaderingen nauwelijks tot grotere minimale afstanden leidt.

** De waarden in de kolom voor parallel of rangeerbanen zijn een lineaire interpolatie van de cijfers uit 'Wegontwerp in Tunnels - convergentie- en divergentiepunten nabij tunnels' (Rijkswaterstaat, juli 2008) op basis van 100 km/u en 80 km/u.

*** Met de aanduiding puntstuk wordt de spitse punt van het puntstuk bedoeld.

**** Een extra rijstrook nabij een tunnel(mond) wordt net als een extra rijstrook buiten de tunnel aan de linkerzijde toegevoegd. Aandacht gaat hierbij uit naar de afstand tot de eventueel nog aanwezige tunnelwand, zoals beschreven in 9.2.1.

Naast de genoemde minimale afstanden in tabel 9.6, dient er bij divergerende discontinuïteiten ook rekening gehouden te worden met voldoende afstand voor bewegwijzering.

discontinuïteit op onvoldoende afstand buiten tunnel

Als een convergentie- of divergentiepunt voor of na een tunnel is gepland, maar er vanwege zwaarwegende redenen niet kan worden voldaan aan de minimale afstand tot de tunnelingang of tunneluitgang, dan moet onderzocht worden of met compenserende maatregelen het veiligheidsniveau alsnog op een acceptabel niveau kan worden gebracht. Voor een overzicht van enkele compenserende maatregelen die (kwalitatief) zijn onderzocht op hun risicoverlagend effect wordt verwezen naar 'Wegontwerp in Tunnels - convergentie- en divergentiepunten nabij tunnels', Rijkswaterstaat, juli 2008.

discontinuïteit in tunnel

Omdat de gevolgen van een incident in een tunnel ernstiger zijn dan de gevolgen van eenzelfde incident in de open lucht, moet in alle gevallen getracht worden het convergentie- of divergentiepunt buiten de tunnel (op voldoende afstand van de tunnelingang- of uitgang) te realiseren. Bovendien nemen toe- en afritten in een tunnel problemen met de oriëntatie van de weggebruiker met zich mee.

Vanwege inpassingsvraagstukken zullen in Nederland (met name in stedelijke gebieden) echter steeds meer (lange) landtunnels worden gerealiseerd. Er ontstaat hierdoor de noodzaak om op een verkeersveilige manier convergentie- en divergentiepunten in tunnels te ontwerpen. Het convergentie- of divergentiepunt moet dan op voldoende afstand van de tunnelingang- of uitgang in de tunnel gerealiseerd worden (zie tabel 9.7), waarbij in alle gevallen onderzocht moet worden of middels compenserende maatregelen het veiligheidsniveau alsnog op een acceptabel niveau gebracht kan worden.

Daarboven gelden nog de volgende randvoorwaarden bij toepassing van discontinuïteiten in tunnels:

- de discontinuïteit dient over de volledige zichtlengte voor wegverloopzicht volledig en continue zichtbaar te zijn;
- in tunnels moet filevorming te allen tijde worden voorkomen. Daarom mag de I/C-verhouding in tunnels nooit toenemen (bijvoorbeeld als gevolg van een convergentiepunt).

tabel 9.7 Minimale afstanden tussen discontinuïteit in de tunnel en tunnelmond

type	locatie	hoofdbaan	parallel en rangeerbanen*	meetpunten**
invoeging	in de tunnel, t.o.v. tunnelingang	Alleen onder strikte voorwaarden		n.v.t.
	in de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	Alleen onder strikte voorwaarden		n.v.t.
uitvoeging	in de tunnel, t.o.v. tunnelingang	585 m	410 m	tunnelingang - puntstuk
	in de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	230 m	150 m	puntstuk - tunneluitgang
samenvoeging	in de tunnel, t.o.v. tunnelingang	210 m	130 m	tunnelingang - puntstuk
	in de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	375 m	285 m	puntstuk - tunneluitgang
splitsing	in de tunnel, t.o.v. tunnelingang	900 m	675 m	tunnelingang - puntstuk***
	in de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	230 m	150 m	puntstuk - tunneluitgang
weefvak	in de tunnel, t.o.v. tunnelingang	210 m	130 m	tunnelingang - puntstuk
	in de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	230 m	150 m	puntstuk - tunneluitgang
strookbeëindiging	in de tunnel, t.o.v. tunnelingang	niet toegestaan in tunnel		n.v.t.
	in de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	niet toegestaan in tunnel		n.v.t.
extra rijstrook	in de tunnel, t.o.v. tunnelingang	niet toegestaan in tunnel		n.v.t.
	in de tunnel, t.o.v. tunneluitgang	niet toegestaan in tunnel		n.v.t.

* De waarden in de kolom voor parallel en rangeerbanen zijn een lineaire interpolatie van de cijfers uit 'Wegontwerp in Tunnels - convergentie- en divergentiepunten nabij tunnels' (Rijkswaterstaat, juli 2008) op basis van 100 km/u en 80 km/u.

** Met de aanduiding puntstuk wordt de spitse punt van het puntstuk bedoeld.

*** Uitgaande van een lengte van de blokmarkering van 750 m. Indien de lengte van de blokmarkering afwijkt, dient het verschil verdisconteerd te worden.

Belangrijke aandachtspunten bij het toepassen van discontinuïteiten in tunnels zijn de overgang van licht naar donker op de toerit en de afrit. Ook voor deze punten geldt dat de weggebruiker tijd nodig heeft om zich aan te passen aan de gewijzigde lichtomstandigheden. Gedurende deze periode mogen geen rijtaakverzwarende elementen aanwezig zijn, zoals krappe bogen, kans op stilstaand verkeer en rijstrookwisselingen.

Voor een overzicht van enkele compenserende maatregelen die (kwalitatief) zijn onderzocht op hun risicoverlagend effect wordt verwezen naar 'Wegontwerp in Tunnels - convergentie- en divergentiepunten nabij tunnels', Rijkswaterstaat, juli 2008.

9.2.7 Afschermingsvoorzieningen

In tunnels worden barriers toegepast als afschermingsvoorziening. De teen van de barrier markeert de begrenzing van het profiel van vrije ruimte, zowel in horizontale als in verticale zin.

Er wordt gebruik gemaakt van halve barriers die bij bediende tunnels direct tegen de tunnelwand worden geplaatst. Ter plaatse van onderbrekingen in de afschermingsvoorziening (bij de vluchtdeuren) dienen voorzieningen ten behoeve van de verkeersveiligheid gerealiseerd te worden.

Bij onbediende tunnels worden de halve barriers niet direct tegen de wand geplaatst, maar wordt er (naast een vluchtstrook, zie paragraaf 8.2.1) voorzien in een veilige opstelruimte achter de barrier voor de inzittenden van een gestrand voertuig. De ruimte achter de halve barrier bedraagt 0,60m. Op een regelmatige onderlinge afstand van maximaal 50m moet een overstapvoorziening worden gerealiseerd die de personen helpt zich achter de barrier te begeven.

9.3 Wegbeeld

In tunnels dient bovenop de in paragraaf 5.6 genoemde wegbeeldaspecten extra aandacht uit te gaan naar het volgende:

- overgang van de open naar de gesloten situatie;
- omgeving van de tunnelingang en -uitgang.

overgang van de open naar de gesloten situatie

Een tunnel is in de beleving van de weggebruiker een grote verandering in het wegbeeld. Om nadelige effecten op het rijgedrag van bestuurders te voorkomen, is het noodzakelijk om aandacht te besteden aan de vormgeving van de overgang van de open naar de gesloten situatie en vice versa en de vormgeving van tunnelelementen (o.a. de tunnelwanden).

Zo blijkt het gunstig te zijn als autobestuurders kunnen anticiperen op het binnenrijden van de tunnel. Dit kan het beste door de toeritten in een ruime horizontale boog te leggen, waardoor de afstand tot het tunnelportaal (en voorliggende auto's) goed kan worden ingeschat. Voor een uitgebreider overzicht van aandachtspunten wordt verwezen naar de Veiligheidsrichtlijnen deel C (VRC), 2009.

Per project dient door de wegontwerper een inschatting gemaakt te worden van het wegbeeld dat bestuurders zullen ervaren. Hierop dient een Human Factors analyse gemaakt te worden.

omgeving van de tunnelingang en -uitgang

Naast de kenmerken van de weg en tunnel zelf, is ook de omgeving van de tunnelingang en -uitgang van invloed op het rijgedrag van bestuurders. Per project dient door de wegontwerper een inschatting gemaakt te worden van het wegbeeld dat bestuurders zullen ervaren. Hierop dient een Human Factors analyse gemaakt te worden.

Bij het ontwerpen moet rekening worden gehouden met in het landschap aanwezige elementen. Enkele aandachtspunten:

- omgevingselementen als kruisende infrastructuur en beplanting kunnen voor geleiding of misleiding zorgen. De ingang van de tunnel en het verloop van de weg er naartoe dienen daarom goed op te vallen tegen de omgeving;
- bij het naderen van de ingang van een tunnel en het verlaten van een tunnel moet verblinding door de (laagstaande) zon worden voorkomen, met name bij de overgang van donker naar licht. Het oog moet geleidelijk aan de nieuwe lichtsituatie kunnen wennen. Hiervoor moeten niet alleen de effecten van de zon voorkomen worden door middel van bijvoorbeeld zonwerende kappen, maar ook door hierop inspelen door lichtcontrasten te verminderen door middel van tunnelverlichting;
- bij lange tunnels moet voorkomen worden dat het uitgangsportaal ruim voor het uitrijden van de tunnel reeds in zicht is, om te voorkomen dat bestuurders zich hierop teveel fixeren en minder alert reageren op prikkels rondom hem.

Bijlage Begrippenlijst

begrip	definitie
aansluiting	ongelijkvloers kruispunt van een stroomweg en een weg van een lagere hoofdcategorie,
acceleratielengte	waartussen uitwisseling mogelijk is. de acceleratielengte is de afstand die nodig is om de snelheid van een voertuig op comfortabele wijze te verhogen tot een gewenst niveau.
afschot	dwarshelling in een constructie ten behoeve van de afwatering.
afrit	verbindingsweg vanaf een weg naar een weg van een lagere hoofdcategorie.
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 60 km/u, 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	naast de rijbaan van een autosnelweg gelegen deel van de verkeersbaan en/of van de wegberm dat, waar een vluchtstrook ontbreekt, ruimte biedt aan gestrande voertuigen.
blokmarkering	wegmarkering bestaande uit in een lijnpatroon aangebrachte blokken met een breedte van meer dan 0,25 m tot max 0,45 m.
blokstreep	deelstreep ter plaatse van een invoegstrook, uitrijstrook, weefvak of voorsorteerstrook, uitgevoerd als blokmarkering.
bochtverbreding	verbreed gedeelte aan de binnenzijde van de rijbaan in een horizontale boog.
bolle boog	cirkelvormige bovenafronding in een lengteprofiel.
botsveilig object	voorwerp dat bij aanrijding door een voertuig weinig of geen schade veroorzaakt aan het voertuig en/of letsel aan de inzittenden.
buitenberm	wegberm tussen een buitenste rijbaan en de naastgelegen weggrens.
convergentiepunt	punt of gebied waar 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.
deceleratielengte	De deceleratielengte is de afstand die nodig is om de snelheid van een voertuig te verlagen tot een zodanig niveau, dat het direct stroomafwaarts gelegen wegvak verkeersveilig bereden kan worden.
deelstreep	wegmarkering in lengterichting die rijstroken voor verkeer in dezelfde richting scheidt, uitgevoerd als enkele ononderbroken streep, als enkele onderbroken streep, als combinatie van een doorgetrokken streep en een onderbroken streep of als blokmarkering.
divergentiepunt	punt of gebied waar verkeersstromen met dezelfde rijrichting op een rijbaan onder een kleine hoek uit elkaar gaan en zich verspreiden over meer rijbanen dan wel meer rijstroken.
dwarshelling	tangens van de hoek die de horizontaal in een dwarsprofiel maakt met de lijn tussen de zijkant en de kruin van het verhardingsoppervlak.
dwarsprofiel	verticale doorsnede loodrecht op de as van de weg, spoorweg of waterweg.
holle boog	cirkelvormige onderafronding in een lengteprofiel.
hoofdbaai	rijbaan, bestemd voor doorgaand snelverkeer.
hoofdverbindingsas	autosnelweg die de economische kerngebieden met elkaar en met die in het buitenland verbindt.
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.

begrip	definitie
	Wanneer de toeleidende rijbaan meer dan één rijstrook heeft, bestaat de invoegstrook slechts uit een taper.
kantstreep	wegmarkering in lengterichting die de rijbaan scheidt in een deel bestemd voor rijdend verkeer en een deel niet bestemd voor rijdend verkeer, uitgevoerd als ononderbroken streep.
knooppunt	ongelijkvloers kruispunt van stroomwegen, waartussen ongelijkvloerse uitwisseling mogelijk is.
middenberm	wegberm tussen twee hoofdbanen met tegengestelde rijrichtingen.
netwerk	geheel van verbindingen tussen de verschillende herkomst- en bestemmingsgebieden in en buiten Nederland, bestaande uit hoofdverbindingssassen en overige hoofdwegen.
object	voorwerpen die significant boven het maaiveld uit komen, zoals voertuigkering, obstakel of rijdend / stilstaand voertuig.
objectafstand	door bestuurders aangehouden afstand tot objecten langs de eigen rijstrook.
obstakel	voorwerp, beplantingselement of dwarsprofiелеlement dat bij aanrijding ernstige schade aan een voertuig en/of (dodelijk) letsel aan de inzittenden kan veroorzaken.
obstakelafstand	kortste afstand tussen de binnenkant van de kantstreep en een obstakel (bij afwezigheid van een kantstreep: de afstand tussen de kant van de verharding en het obstakel).
horizontaal	
obstakelafstand	kortste afstand tussen de bovenkant van het wegdek en een obstakel.
verticaal	
obstakelvrije zone	gebied langs de rijbaan waarin geen obstakels mogen voorkomen.
ononderbroken	verkeersstreep met een lengte van meer dan 9 m. Onderbrekingen over zeer korte afstanden ten behoeve van de afwatering worden buiten beschouwing gelaten.
streep	
ophoging	gedeelte van de grondconstructie tussen de onderzijde van het zandbed en het oorspronkelijke maaiveld
overgangsboog	geleidelijke overgang tussen een rechtstand en een cirkelboog of tussen twee cirkelbogen.
parallelbaan	rangeerbaan die zich uitstrekt over twee of meer knooppunten en/of aansluitingen.
puntstuk	wegmarkering ter aanduiding van een convergentiepunt of divergentiepunt, uitgevoerd als wit vlak.
rangeerbaan	rijbaan ter plaatse van een knooppunt of aansluiting, evenwijdig lopend aan een hoofdbaan en beginnend en eindigend op die hoofdbaan, en waarop invoeg-, uitrij- en weefbewegingen kunnen plaatsvinden.
rechtstand	rechte lijn in een alignement. men onderscheidt horizontale en verticale rechtstanden.
redresseerstrook	verharde strook van beperkte breedte, gelegen naast de rijbaan, en bedoeld om weggebruikers gelegenheid te geven hun koers te corrigeren.
referentieroute	hoofdschakel in het netwerk van Europawegen (E-wegen)
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.
snelverkeer	motorvoertuigen die sneller kunnen en mogen rijden dan 40 km/u.
splitsing	divergentiepunt waar een rijbaan overgaat in twee rijbanen met ongeveer dezelfde ontwerpsnelheid; beide rijbanen bevatten ten minste één rijstrook van de oorspronkelijke rijbaan.
stappentheorie	De stappentheorie houdt in dat de ontwerpsnelheid van opeenvolgende ontwerpcomponenten in afritten stapsgewijs afneemt.
stroomweg	weg bedoeld om een vlotte doorgang aan het verkeer te bieden. Conform Duurzaam Veilig worden naast stroomwegen ook gebiedsontsluitingswegen en erftoegangswegen onderscheiden.
stadsautosnelweg	De Stadsautosnelweg gaat door een gebied met veel herkomsten en bestemmingen, en wordt daarom gekenmerkt door een grote aansluitingsdichtheid. Een ander belangrijk

begrip	definitie
	kenmerk is dat de wegomgeving een duidelijk stedelijk karakter heeft door de nadrukkelijke aanwezigheid van bebouwing of andersoortige stedelijke objecten.
talud	gedeelte van de wegbaan, waarvan het oppervlak een dwarshelling van 16,67 % (helling 1:6 of schuinte 24/4) vertoont.
tegenverkanting	dwarshelling in de boog van een weg, die afloopt naar de buitenzijde van een boog en die geen compensatie biedt aan de middelpuntvliedende kracht op rijdende voertuigen.
toerit	verbindingsweg vanaf een weg naar een weg van een hogere hoofdcategorie.
tracé	verzameling wegvakken en aansluitingen die binnen het netwerk een duidelijke eenheid vormen, veelal begrensd door knooppunten.
traject	(autosnel)weg binnen het totale netwerk, of een combinatie van enkele delen van meerdere (autosnel)wegen.
turbulentiellengte	Turbulentiellengtes zijn de afstanden rondom convergentie- en divergentiepunten waarover het rijgedrag en de afwikkeling worden beïnvloed door deze convergentie- en divergentiepunten.
tussenberm	wegberm tussen evenwijdig lopende rijbanen, niet beide zijnde hoofdbanen.
uitgraving	verdieping van de natuurlijke ondergrond tot op het peil dat nodig is om de weg aan te leggen.
uitrijstrook	rijstrook van beperkte lengte ter plaatse van een divergentiepunt, die grenst aan een doorgaande rijstrook van een rijbaan en, in rijrichting gezien, eindigt bij de spitse punt van het puntstuk. Een uitrijstrook is bedoeld om verkeer afkomstig van de doorgaande rijstrook/rijstroken in de gelegenheid te stellen zijn snelheid te verminderen alvorens de afbuigende rijbaan op te rijden.
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. Een verbindingsweg wordt gestart bij een discontinuïteit en start aan de rechterzijde van de rijbaan. Binnen een verbindingsweg mag tussen verschillende elementen de ontwerpsnelheid niet meer dan 20 km/u verschillen.
verdriftpijl	wegmarkering die het verkeer naar een aangrenzende rijstrook geleidt, uitgevoerd als gebogen pijl.
verdriffstrepen	wegmarkering ter geleiding van het verkeer naar een ander weggedeelte, uitgevoerd als verkeersstrepen die onder een schuine hoek met de rijrichting zijn aangebracht.
verkanting	dwarshelling in de boog van een weg of spoorweg, die ten doel heeft de middelpuntvliedende kracht van rijdende voertuigen geheel of gedeeltelijk te compenseren.
verkantingsovergang	gedeelte van de verkeersbaan waar de dwarshelling van teken verandert.
verkeersbaan	verkeerdragende baan.
vetergang	van de rechte lijn afwijkende koers van voertuigen ten gevolge van storende krachten en koerscorrecties.
vluchtruimte	ruimte naast de vluchtstrook en direct grenzend aan de verharding, bestemd voor gestrande voertuigen, om de vluchtstrook zo veel mogelijk te kunnen vrijhouden.
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	gebied naast de rijbaan, bestaande uit kantstreep, vluchtstrook en vluchtruimte.
weefstrook	rijstrook die behoort tot die rijstroken rechts van de blokmarkering gelegen in een weefvak.
weefvak	rijbaangedeelte van beperkte lengte tussen convergentiepunt en divergentiepunt, dat bedoeld is om te weven.
weg	gebaand gedeelte van het terrein ten behoeve van het verkeer te land, in lengte- en dwarsrichting begrensd door weggrenzen.
wegbebakening	samenstel van de op, in, boven en ter zijde van de verharding aangebrachte verkeerstekens en -voorwerpen, die dienen ter geleiding, waarschuwing, regeling en beveiliging van het verkeer.

begrip	definitie
wegberm	gedeelte van een weg tussen rijbanen of tussen een buitenste rijbaan en de naastgelegen weggrens.
wegmarkering in lengterichting	wegmarkering waarvan de lengterichting in beginsel evenwijdig loopt aan de as van de weg.
wegvak	gedeelte van de autosnelweg als onderdeel van een tracé dat in lengterichting wordt begrensd door een aansluiting, een knooppunt of een andere discontinuïteit, bestaande uit een samenstelling van een alignement en een dwarsprofiel voor één rijrichting, met als randvoorwaarden de zichtlengte en eisen vanuit wegbeeld.
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.