

DEEL 3: GEOMETRISCH WEGONTWERP

In dit derde deel staat het geometrisch ontwerp van de weg centraal: hoe ziet de weg eruit? Het ontwerp van een weg is gericht op de verkeersfuncties en de verkeersveiligheid. Aan de andere kant wordt het ook sterk beïnvloed door het gedrag van de bestuurders. Ook eenvoudige fysica speelt bij het wegontwerp een rol. Het ruimtelijk ontwerp wordt weergegeven in drie projecties op het platte vlak: dwarsdoorsnede, horizontaal en verticaal alignement. Achtereenvolgens komen aan bod:

- De hoofdprincipes in het ontwerp
- Dwarsprofiel
- Horizontaal alignement
- Verticaal alignement
- Knooppunten en kruispunten

DEEL 3: GEOMETRISCH WEGONTWERP	1
1 INLEIDING	3
2 HOOFDPRINCIPES ONTWERP	5
2.1 Verkeersfunctie	5
2.1.1 Wegfuncties	5
2.2 Veiligheid	7
2.2.1 Duurzaam-Veilig-filosofie	7
2.2.2 Wegcategorieën volgens Duurzaam Veilig	8
2.3 Fysieke verschijnselen en gedrag van bestuurders	10
2.3.1 Rijzicht	10
2.3.2 Stopzicht	10
2.4 Wegcapaciteit	13
3 ONTWERPELEMENTEN	17
3.1 Dwarsprofiel	17
3.1.1 Inleiding	17
3.1.2 Verkeersfunctie	17
3.1.3 Veiligheid	18
3.1.4 Fysieke verschijnselen	19
3.1.5 Gedrag van bestuurders	20
3.2 Horizontaal alignement: rechtstand, boog en overgangsboog	21
3.2.1 Verkeersfunctie	21
3.2.2 Veiligheid	23
3.2.3 Fysieke verschijnselen	23
3.2.4 Gedrag van bestuurders	31
3.3 Horizontaal alignement: algemeen	32
3.3.1 Uitwijkzicht	32
3.3.2 Inhaalzicht	32
3.3.3 Boogzicht	33
3.3.4 Wegverloopzicht	34
3.4 Verticaal alignement: langshelling en afrondingsbogen	34
3.4.1 Verkeersfunctie	34
3.4.2 Veiligheid	36
3.4.3 Fysieke verschijnselen	38
3.4.4 Gedrag van bestuurders	39
3.5 Verticaal alignement: algemeen	41
3.5.1 Ontwerp verticaal alignement	41
3.5.2 Wegbeeld	45
3.6 Knooppunten, kruispunten en rotondes	46
3.6.1 Verkeersfunctie	46
3.6.2 Veiligheid	58
3.6.3 Fysieke verschijnselen	59
3.6.4 Gedrag van bestuurders	61

1 INLEIDING

Wegontwerp is een ontwerpprobleem dat gaat om de interactie tussen de bestuurder, het voertuig en de weg. Een weg wordt zodanig ontworpen, dat deze op veilige wijze de verkeersfunctie kan vervullen. De weggebruiker reageert op het ontwerp met zijn rijgedrag. Het voertuig van de bestuurder reageert op dit rijgedrag en bepaalt dus de fysieke verschijnselen op de weg.

Het ontwerpprobleem kan je splitsen in twee delen:

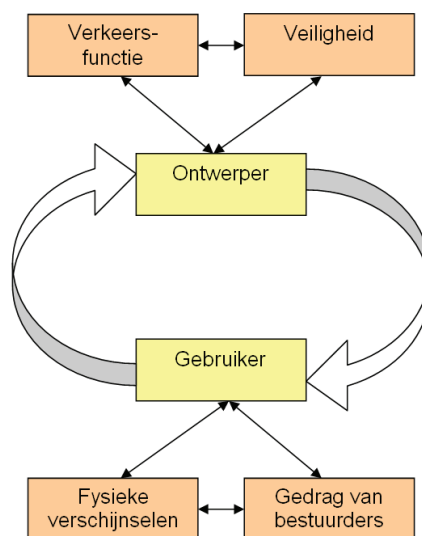
1. De ontwerper die kijkt naar zijn doelstellingen
2. De gebruiker die reageert op het ontwerp

Aan de zijde van de ontwerper zijn vooral de verkeersfunctie en veiligheid van de weg van belang. Aan de zijde van de gebruiker wordt hierop gereageerd door het gedrag van de bestuurder en de fysieke verschijnselen van het voertuig. Met deze gebruikersaspecten dient de ontwerper rekening te houden in het ontwerp.

Bij het wegontwerp kunnen dus vier belangrijke aspecten worden onderscheiden:

1. De verkeersfunctie van de weg
2. De veiligheid van de weg
3. De fysieke verschijnselen van het voertuig
4. Het gedrag van de bestuurders

In Figuur 1.1 is de samenhang tussen de ontwerpaspecten schematisch weergegeven.



FIGUUR 1.1: SAMENHANG TUSSEN ONTWERPASPECTEN

In het volgende hoofdstuk zijn de hoofdpunten van het wegontwerp per ontwerpaspect beschreven. Daarna is voor de basiselementen uit het wegontwerp (rechtstand, boog, kruispunt etc.) aangegeven hoe de vier aspecten het ontwerp beïnvloeden.

Zoals in het schema uit Figuur 1.1 is weergegeven staan de ontwerpaspecten niet op zichzelf, maar beïnvloeden ze elkaar. Zo heeft de verkeersfunctie van een weg bijvoorbeeld invloed op de veiligheid en andersom. Deze samenhang van de ontwerpaspecten wordt hieronder toegelicht met een voorbeeld.

De verkeersfunctie van een autosnelweg is het creëren van een snelle verbinding over een relatief grote afstand. Vanuit de verkeersfunctie zijn dus hoge snelheden op een autosnelweg gewenst, maar dit heeft invloed op het veiligheidsaspect. Om veiligheidsredenen worden daarom op wegen met de functie van een autosnelweg maatregelen genomen, zoals gescheiden rijbanen, brede rijstroken en de plaatsing van vangrails.

Het concrete wegontwerp moet in de regel overeenkomen met de in de richtlijnen NOA en RONA genoemde kenmerken. De NOA (Nieuwe Ontwerprichtlijn Autosnelwegen) geldt voor het ontwerp

van autosnelwegen en de RONA (Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen) voor de overige wegtypen. Afwijkingen van deze richtlijnen dienen in elk geval gemotiveerd te worden. Voor wegontwerp binnen de bebouwde kom zijn geen strikte richtlijnen, maar aanbevelingen (ASVV, 2004) van toepassing. De ontwerper hoeft deze niet te volgen, maar hij mag aannemen dat de uitwerking ervan gunstig is. Daarin wordt tevens per maatregel expliciet onderscheid in vijf waarderingsgraden gemaakt (voorschrift, richtlijn, aanbeveling, suggestie, mogelijkheid), zodat de vrijheidsgraad van het wegontwerp binnen de bebouwde kom veel groter is en dus een grote variatie plaatsvindt.

In 2002 is het Handboek Wegontwerp voor wegen buiten de bebouwde kom verschenen als resultaat van het project Herziening Richtlijnen Ontwerp Niet-Autosnelwegen (RONA) daterend uit de periode 1980-1992. Aanleiding was de ontwikkeling rond Duurzaam Veilig Verkeer (zie paragraaf 2.2). Na afronding van de herziening bleek echter dat de juridische en financiële consequenties, alsmede de gevolgen voor leefbaarheid en bereikbaarheid van de in het Handboek voorgestelde nieuwe wegcategorisering dermate groot waren dat de wegbeheerders (Rijk, provincies, waterschappen en gemeentes) de vaststelling van het document niet aandurfd. Daarom heeft het Handboek de status van een aanbeveling.

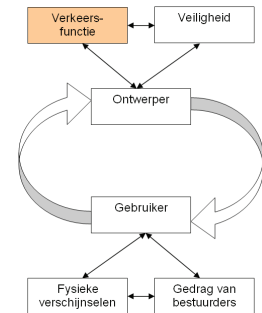
In de beschrijving van het verkeerskundige wegontwerp in dit dictaat is uitgegaan van bovengenoemde richtlijnen en het Handboek. Voor de bepaling van de benodigde capaciteit van autosnelwegen is gebruik gemaakt van de Highway Capacity Manual (HCM) uit de VS. In paragraaf 2.4 wordt daar verder op ingegaan.

2 HOOFDPRINCIPES ONTWERP

2.1 Verkeersfunctie

De verkeersfunctie van de weg is een ontwerpaspect dat vooral aan de zijde van de ontwerper een belangrijke rol speelt. De verkeersfunctie bepaalt in belangrijke mate de vormgeving van de weg en vormt daarom een van de uitgangspunten in het wegontwerp.

In deze paragraaf zal worden ingegaan op de mogelijke functies die een weg kan hebben en een mogelijke categorie-indeling voor wegen.



2.1.1 Wegfuncties

Bevinden we ons in onbebouwde gebieden, dan hebben wegen als *hoofdfunctie* verkeer tussen plaatsen mogelijk te maken: de *verbindingsfunctie*. In gebieden met nederzettingen hebben wegen ook nog andere functies: het *ontsluiten*, toegankelijk maken van gebieden, tot aan individuele percelen toe. De *verbindings*-, *ontsluitings*- en *toegangsfuncties* vormen gedrieën de *verkeersfunctie* van een weg. Daarnaast hebben wegen nog *andere functies*, zoals de *verblijfsfunctie*, die andere activiteiten van bewoners en bezoekers dan voortbeweging mogelijk maakt, bijvoorbeeld uitrusten, communiceren, spelen of het parkeren van voertuigen.

De verkeersfunctie van wegen kan verschillen naar gelang het ruimtelijke schaalniveau. We kunnen onderscheiden (zie ook Deel 1 Hoofdstuk 7):

- Europees niveau,
- nationaal niveau,
- regionaal niveau,
- stedelijk niveau,
- wijkniveau.

Op elk schaalniveau is er sprake van verbindingswegen:

- op Europees niveau worden landen of grote regio's met elkaar verbonden door internationale E-wegen;
- binnen een land dienen nationale verbindingswegen (in Nederland hoofdwegen genoemd) ertoe landsdelen met elkaar te verbinden;
- binnen een landsdeel dienen regionale wegen ertoe regio's met elkaar te verbinden;
- op stadsniveau worden wijken met elkaar verbonden;
- op wijkniveau worden buurten binnen een wijk met elkaar verbonden.

Veelal verzorgen verbindingswegen op een lager schaalniveau de ontsluiting naar wegen op een hoger schaalniveau. De Kruithuisweg in Delft is een verbindingsweg op regionaal niveau en verzorgt tegelijkertijd de ontsluiting naar het nationaal niveau.

Op wegen met een *verbindings*- ofwel *stroomfunctie* gaat het om de afwikkeling van het langeafstands- en regionale verkeer. De nadruk ligt op het verbinden van gebieden. Het ontwerp van dit soort wegen dient rekening te houden met de kenmerken van zogenoemd 'gericht verkeer':

- relatief hoge snelheden,
- gesloten voor bepaalde voertuigsoorten,
- hoge intensiteit,
- vloeiende/vlotte verkeersafwikkeling,
- minimaliseren conflictsituaties (bijvoorbeeld door ongelijkvloerse kruisingen en knooppunten).

Op wegen met een *toegangsfunctie* gaat het om de toegankelijkheid van gebieden en gebouwen/percelen in gebieden; men moet er (vlak) bij kunnen komen. Het ontwerp dient rekening te houden met de kenmerken van zogenoemd 'zwerfverkeer':

- lage snelheden en veel afslaan bewegingen,
- menging van verkeerssoorten,
- lage intensiteit,
- rekening houden met kwetsbare weggebruikers,
- opstelruimte voor voertuigen,
- op peil houden van attentieniveau bestuurders.

Daartussen zit de *ontsluitingsfunctie*. Wegen met die functie vormen de schakel tussen verbindingswegen en toegangswegen.

Vooral binnen bebouwde kommen leidt menging van stroom-, ontsluitings- en toegangsfunctie tot conflicten. Menging van ongelijkwaardige verkeerssoorten (snelverkeer/langzaam verkeer, auto's/voetgangers) veroorzaakt ernstiger conflicten, vooral daar waar de ontsluitings- en toegangsfunctie niet herkenbaar zijn aan de vorm en inrichting van de weg, ofwel, waar de vorm van de verkeersruimte zich te veel richt op de functie voor het snelle verkeer en te weinig op het langzame verkeer, zoals voetgangers, kinderen, bejaarden en fietsers. Die functieverstoring neemt in oudere woonwijken (vaak) zeer grote vormen aan. Een zware verbindingsfunctie verdraagt geen zwerfverkeer. Voor belangrijke verkeersstromen zijn dus aparte verbindingswegen nodig: bijvoorbeeld 'rondwegen' om het rechtstreeks doorgaande verkeer buiten de stad te houden.

Er bestaan verschillende categorie-indelingen voor wegen. In dit dictaat is ter illustratie de categorie-indeling volgens de RONA uit 1992 aangehouden. In Tabel 2.1 is die indeling weergegeven. De wegen zijn door de RONA ingedeeld in vier hoofdcategorieën (A t/m D) en acht subcategorieën (I t/m VIII). Op diverse plaatsen in dit dictaat wordt verwezen naar deze wegcategorieën. In 2.2.1 wordt een alternatieve indeling broken.

Hoofdcategorie	benaming	categorie	ontwerp-snelheid [km/h]	dwarsprofiel [aantal rijbanen]
A	autosnelweg	I	120	2
	stadautosnelweg	II	90	2
B	(stads)autoweg	III	100	1
		IV	100	2
C	weg met gesloten-verklaring*)	V	80	1
		VI	60	1
D	weg voor alle soorten verkeer	VII	<60	1
		VIII		1

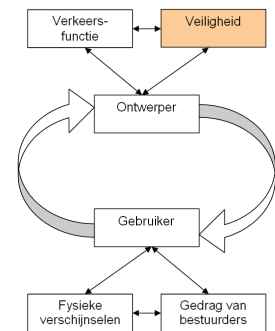
TABEL 2.1 CATEGORIE-INDELING VOOR WEGEN BUITEN DE BEBOUWDE KOM [BRON: RONA-BASISCRITERIA 1992]

*) WEG MET GEHEEL OF GEDEELTELIJK GESLOTENVERKLARING VOOR LANGZAAM VERKEER (IN IEDER GEVAL VOOR FIETSERS EN BROMFIETSERS)

- **Hoofdcategorie A:** (stads)autosnelwegen; omvat uitsluitend dubbelbaanswegen met ongelijkvloerse kruispunten, alleen toegankelijk voor motorvoertuigen die mogen en kunnen rijden met een snelheid van ten minste 80 km/h. De verschijningsvorm van de wegen in deze hoofdcategorie wordt aangepast aan het omliggende gebied (ruraal of urbaan).
- **Hoofdcategorie B:** (stads)autowegen; omvat uitsluitend wegen toegankelijk voor motorvoertuigen, die mogen en kunnen rijden met een snelheid van ten minste 50 km/h. Als de capaciteit dit vereist, kunnen autowegen (alleen in urbane gebieden) dubbelbaans worden uitgevoerd. De wegen in deze hoofdcategorie hebben in principe gelijkvloerse kruispunten.
- **Hoofdcategorie C:** wegen met geheel of gedeeltelijk geslotenverklaring; omvat wegen die niet toegankelijk zijn voor fiets- en bromfietsverkeer en in een aantal gevallen eveneens gesloten zijn voor andere soorten langzaam verkeer.
- **Hoofdcategorie D:** wegen voor alle soorten verkeer; omvat die wegen, die toegankelijk zijn voor alle soorten verkeersdeelnemers. Het is duidelijk dat de verkeersfunctie van dit soort wegen gering is, maar de ontsluitings- en toegangsfunctie belangrijk.

2.2 Veiligheid

Naast de verkeersfunctie is veiligheid een ontwerpaspect dat voor de wegontwerper van groot belang is. De laatste jaren is er in het wegontwerp steeds meer aandacht voor de "Duurzaam Veilig"-aanpak van het wegontwerp. De Duurzaam Veilig- filosofie probeert een brug te slaan tussen de verkeerskundige invalshoek en de verkeersveiligheid. In deze paragraaf zal die aanpak verder worden toegelicht.



2.2.1 Duurzaam-Veilig-filosofie

Het concept *Duurzaam Veilig Wegverkeer* is in 1992 door de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) ontwikkeld en wordt sinds 1997 door de wegbeheerders stapsgewijs ingevoerd. De doelstellingen, volgens de nota mobiliteit 2005, op landelijk niveau zijn een afname tot 12.250 gewonden en 580 (inmiddels aangescherpt tot 500) doden per jaar in het verkeer in 2020.

Om deze doelstellingen te bereiken zijn de volgende eisen geformuleerd:

- realisering van zo groot mogelijke aaneengesloten verblijfsgebieden
- minimaal deel van de rit over relatief onveilige wegen
- ritten zo kort mogelijk maken
- kortste en veiligste route laten samenvallen
- zoekgedrag vermijden
- wegcategorieën herkenbaar maken
- aantal verkeersoplossingen uniform maken
- conflicten vermijden met tegemoetkomend, kruisend en overstekend verkeer
- scheiden van voertuigsoorten
- reduceren van de snelheid op potentiële conflictpunten
- vermijden van obstakels langs de weg.

De filosofie achter deze eisen is het minimaliseren en voorkomen van conflicten, met name tussen weggebruikers waarvan de snelheid, richting en massa grote verschillen tonen. Door homogeen gebruik van de infrastructuur vermindert tevens de kwetsbaarheid van de weggebruiker.

Het Duurzaam Veilig verkeerssysteem kent:

- een **infrastructuur** die qua vorm- en regelgeving aangepast is aan (de beperkingen van) de menselijke vermogens;
- **voertuigen** die voorzien zijn van middelen om de taken van de mens te vereenvoudigen en die geconstrueerd zijn om de kwetsbare mens zo goed mogelijk te beschermen;
- **verkeersdeelnemers** die adequaat worden opgeleid, geïnformeerd en waar nodig gecontroleerd.

Voor het duurzaam veilig ontwerpen van de infrastructuur gaat men uit van vijf veiligheidsprincipes:

1. **Functionaliteit** van het wegennet door onderscheid te maken tussen wegcategorieën afhankelijk van de functie van de wegvoorziening voor bepaalde verplaatsingen, voertuigsoorten, routes en verkeersintensiteiten;
2. **Homogeniteit** van het verkeer door ontmoetingen van weggebruikers met grote verschillen in snelheid, richting en massa te voorkomen;
3. **Voorspelbaar gedrag** stimuleren door het wegverloop aan te passen aan het vermogen tot waarnemen, beslissen en handelen van met name minder valide weggebruikers (ouderen en kinderen).
4. **Vergevingsgezindheid**; In de fysieke betekenis houdt vergevingsgezindheid in dat de omgeving zo is ingericht dat eventuele botsingen zo gunstig mogelijk aflopen. Een voertuig dat van de weg raakt zou geen obstakels, ook geen wegmeubilair, mogen raken met ernstig letsel als gevolg. En het voertuig zelf dient zowel bescherming te bieden aan de inzittenden als aan de tegenpartij.

5. **Statusonderkenning** doelt op het vermogen van, of de mogelijkheid voor de verkeersdeelnemer om zijn eigen bekwaamheid voor de rijtaak goed in te schatten. Zo moet hij dus weten over welke vaardigheden hij beschikt en of deze voldoende zijn om veilig aan het verkeer te kunnen deelnemen. Maar ook dienen verkeersdeelnemers van zichzelf weten wanneer ze er – tijdelijk – zo aan toe zijn dat verkeersdeelname niet verantwoord is, bijvoorbeeld door de invloed van alcohol, medicijnen, stress of vermoeidheid.

2.2.2 Wegcategorieën volgens Duurzaam Veilig

Wegen hebben als onderdeel van de openbare ruimten een verkeersfunctie en een verblijfsfunctie. De verkeersfunctie maakt een gerichte voortbeweging van voertuigen en voetgangers mogelijk overeenkomstig met het doel van de verplaatsing, terwijl de verblijfsfunctie uitnodigt tot andere activiteiten van bewoners en bezoekers.

Binnen de verkeersfunctie worden twee verkeersvormen onderscheiden:

- **stromen:** doelgerichte voortbeweging van voertuigen of voetgangers in één richting met min of meer constante (relatief hoge) snelheid.
- **uitwisselen:** doelgerichte voortbeweging met wisselende snelheid en/of richting zoals verzamelen, verdelen en kruisen van verkeer, alsmede het vertrekken, keren, draaien, stoppen van voertuigen.

De strikte scheiding van deze verkeersvormen onderling en t.o.v. de verblijfsfunctie vergroot de verkeersveiligheid en komt derhalve terug in de drie wegcategorieën binnen Duurzaam Veilig (Tabel 2.2).

wegcategorie	verkeersfunctie wegvak	kruispunt
stroomweg	stromen	stromen
gebiedsontsluitingsweg	stromen	uitwisselen
erftoegangsweg	uitwisselen	uitwisselen

TABEL 2.2: CATEGORIE-INDELING DUURZAAM VEILIG VERKEER

Stroomwegen zijn gericht op een zo veilig en betrouwbaar mogelijke afwikkeling van relatief grote hoeveelheden verkeer met een hoge (gemiddelde) snelheid. Zowel op de wegvakken als op de kruispunten wordt prioriteit gegeven aan doorstromen. Dit vereist onder meer gescheiden rijrichtingen, ontbreken van overstekend en kruisend verkeer en van in- en uitvoegend verkeer.

Gebiedsontsluitingswegen faciliteren zowel het stromen als het uitwisselen, maar deze functies worden naar plaats gescheiden. Het uitwisselen vindt plaats op kruispunten en het stromen op de wegvakken tussen de kruispunten. De gebiedsontsluitingsweg vormt binnen het verkeersnetwerk de verbindende schakel tussen stroomwegen en erftoegangswegen.

Erftoegangswegen waarborgen de toegankelijkheid van erven en bevat alle manoeuvres die nodig zijn voor het bereiken van particuliere en openbare percelen, het in- en uitstappen en het laden en lossen van goederen.

Het netwerk voor fietsers en voetgangers is fijnmazig en loopt zoveel mogelijk door de verblijfsgebieden heen. Voor hen is omrijden/omlopen immers niet aantrekkelijk.

De categorie-indeling dient als basis bij de opbouw van netwerken. Dit betekent dat tussen een erftoegangsweg en een stroomweg altijd een gebiedsontsluitingsweg moet voorkomen. In Tabel 2.3 is aangegeven welk type aansluiting de voorkeur verdient afhankelijk van de wegcategorieën die bij de aansluiting samenkomen.

erftoegangsweg	gebieds- ontsluitingsweg	stroomweg	
kruispunt of T-splitsing	uitrit-constructie	mag niet voorkomen	erftoegangsweg
	mini-rotonde	rotonde	gebieds- ontsluitingsweg
		ongelijkvloers	stroomweg

TABEL 2.3: VORMEN VAN AANSLUITINGEN TUSSEN WEGEN PER FUNCTIE

De vormgeving van de weg, met de bijbehorende regels, moet leiden tot een gebruik dat overeenkomt met de functie die de weg dient te vervullen. De wijze waarop functie, vormgeving en gebruik van het wegennet op elkaar zijn afgestemd is van groot belang voor de doorstroming en veiligheid van het verkeer. In het Handboek Wegontwerp wordt onderscheid gemaakt tussen wegtypen binnen de drie categorieën (Tabel 2.4). Deze categorie-indeling is van toepassing voor gebieden buiten de bebouwde kom.

wegtypen	maximum- snelheid [km/h]	kenmerken
nationale stroomweg	120	autosnelweg (valt buiten het Handboek)
regionale stroomweg	100	autoweg, vluchtvoorzieningen, niet overschrijdbare rijrichtingscheiding, ongelijkvloerse kruisingen
gebiedsontsluitingsweg I	80	2x2 rijstroken, rijbaanscheiding, gelijkvloerse kruisingen, onderbroken langsmarkering
gebiedsontsluitingsweg II	80	2x1 rijstrook, rijbaanscheiding, gelijkvloerse kruisingen, onderbroken langsmarkering
erftoegangsweg I	60	1 rijloper, kantmarkering
erftoegangsweg II	60	1 rijloper, geen markering, fiets op de rijbaan

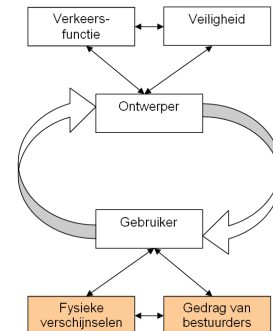
TABEL 2.4: WEGTYPEN BINNEN DE DUURZAAM-VEILIG-WEGCATEGORIEËN

De stroomfunctie vereist op wegvakken en kruispunten een vormgeving die een wettelijke snelheid van 100 tot 120 km/h toestaat. Frontale en dwarsconflicten zouden bij dergelijke snelheid een ernstige afloop hebben en dienen dus te worden uitgesloten. Op wegvakken mogen in principe alleen langsconflicten voorkomen en op kruispunten zijn alleen convergeren en divergeren toegestaan.

De invoering van Duurzaam Veilig is begonnen met het opstellen van een categoriseringsplan voor een samenhangend wegennet. Inmiddels is 90% van de Nederlandse wegen gecategoriseerd. Door consequent de inrichting van de wegcategorieën aan te passen aan de functies hoopt men dat de verkeersveiligheid sterk zal toenemen. Een aantal plannen is door wegbeheerders al gepresenteerd en de herinrichting van wegen volgens Duurzaam Veilig op grotere schaal begint nu van de grond te komen. De totale weglengte ingericht als 30 km/h-zone is 30.000 km en als 60 km/h-zones 12.500 km (50% van alle 60 km/h-wegen).

2.3 Fysieke verschijnselen en gedrag van bestuurders

Aan de gebruikerszijde van de ontwerpogave spelen de fysieke verschijnselen rondom het ontwerp en het gedrag van de bestuurders op het ontwerp een rol. Belangrijke ontwerpeisen die hiermee samenhangen zijn eisen voor de minimale zichtafstanden. Dit is onder te verdelen in het rijzicht en het stopzicht. Het rijzicht is het zicht dat de bestuurder nodig heeft om de weg goed te kunnen overzien en tijdig in te kunnen spelen op gebeurtenissen. Het stopzicht is de zichtafstand die nodig is om op tijd te kunnen stoppen wanneer de weg onverwachts is geblokkeerd. Het wegontwerp moet aan beide zichtafstanden voldoen. Bij de bespreking van het horizontaal en verticaal alignement komen andere varianten van zichtafstanden aan bod.



2.3.1 Rijzicht

Het rijzicht (ook wel anticipatiezicht genoemd) is het zicht dat de bestuurder in staat stelt de weg en de daarop aanwezige informatie (markering, bebakening, bewegwijzering, overig meubilair, medeweggebruikers) over een zodanige afstand te overzien dat deze informatie op een comfortabele manier kan worden verwerkt en in alle rust kan worden gereageerd op wijzigingen in het weg- en verkeersbeeld. Het is de afstand die in ca. 10 rijseconden wordt afgelegd. Dit is een gewenste zichtafstand, waaraan weliswaar vaak, maar lang niet in alle gevallen zal kunnen worden voldaan. Tabel 2.5 geeft voor het rijzicht de minimaal benodigde afstanden bij verschillende ontwerpsnelheden.

V_{ontw} [km/h]	Rijzicht [m]
120	165
100	135
80	105
50	45

TABEL 2.5: RIJZICHTAFSTANDEN VOOR VERSCHILLENDE SNELHEIDSKLASSEN

2.3.2 Stopzicht

Wanneer de automobilist waarneemt dat zijn eigen rijstrook geblokkeerd is, heeft hij de keuze tussen uitwijken en remmen. Uitmijken is niet mogelijk indien het blokkerende object te omvangrijk is, stilstaande voertuigen op alle rijstroken staan of er maar één rijstrook ter beschikking is. De bepalende situatie is die waarin een file verdeeld is over alle rijstroken en waarvoor een noodstop moet worden gemaakt. De zichtafstand is opgebouwd uit de tijdens de perceptie-reactietijd afgelegde afstand en de eigenlijke remweg.

Uitgangspunten:

- net niet geblokkeerde wielen bij nat wegdek;
- kortere perceptie-reactietijd nodig bij lagere ontwerpsnelheden in verband met hoger attentieniveau.

$$L_{stop} = \left(prt * \frac{v_{ontw}}{3,6} \right) + \left(\left(\frac{v_{ontw}}{3,6} \right)^2 * \frac{I}{2g(f_{lg} \pm 0,01i)} \right) \quad (2.1)$$

waarin:

L_{stop}	:	stopzichtafstand [m];
p_{rt}	:	perceptie-reactietijd [s];
v_{ontw}	:	ontwerpsnelheid [km/h];
g	:	versnelling van de zwaartekracht [9,81 m/s ²];
f_{lg}	:	gemiddelde langswrijvingscoëfficiënt, behorend bij de v_{ontw} ;
i	:	langshelling [%], bij stijging positief; bij daling negatief.

De toe te passen f_{lg} -waarden zijn:

v_{ontw} [km/h]	f_{lg}
120	0,32
100	0,36
80	0,41
50	0,48

TABEL 2.6: TOE TE PASSEN f_{lg} -WAARDEN

Het effect van reductie van de aanwezige langswrijving ten gevolge van een horizontale boog wordt verwaarloosd. Deze uitgangspunten leiden tot zichtafstanden zoals vermeld in Tabel 2.7.

Snelheid	Perceptie-reactietijd en -weg		Remtijd en -weg		Totale stopzichtafstand
v_{ontw} [km/h]	[s]	[m]	[s]	[m]	[m]
120	2,5	83	11	177	260
100	2.25	63	8	107	170
80	2	44	6	61	105
50	1,5	20	3	20	40

TABEL 2.7: OPBOUW VAN DE STOPZICHTAFSTANDEN VOOR VERSCHILLENDE SNELHEIDSKLASSEN (HELLING = 0%)

Maatgevende situatie hierbij is het zichtpunt: remlichten (0,50 m boven wegdek) binnenste rijstrook.

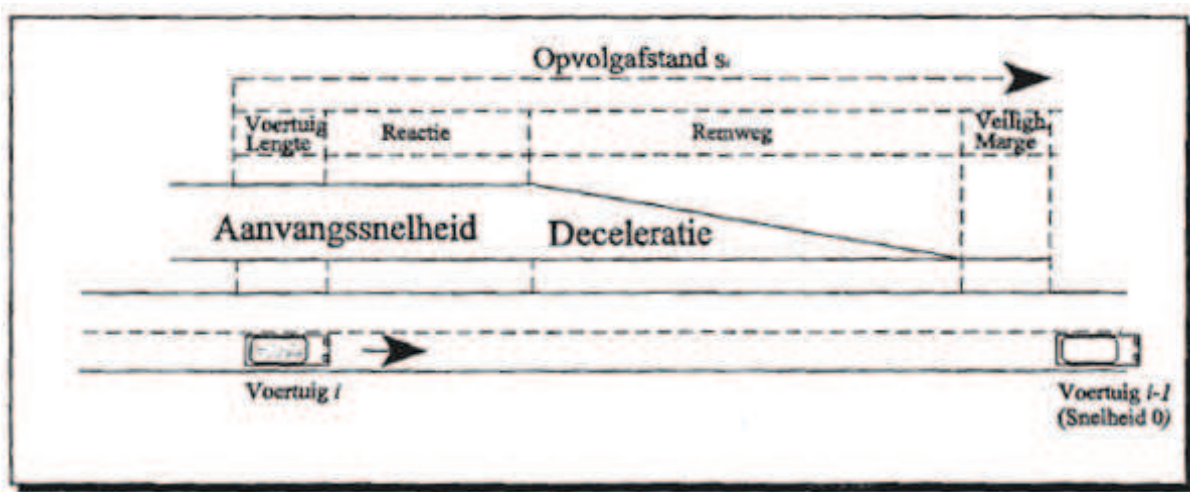
In het bovenstaande is uitgegaan van de situatie dat er plotseling geremd moet worden voor een object dat stilstaat (zoals de achterkant van een file). In het verkeer komt het vanwege het volgedrag echter vaak voor dat er plotseling geremd moet worden omdat de voorligger ook ineens remt. Deze situatie leidt tot een andere berekening, omdat het object waarvoor geremd moet worden (de remmende auto) nog niet stilstaat. Hieronder is uitgelegd hoe een veilige opvolgafstand tussen twee auto's kan worden berekend.

In de uitgangssituatie rijdt voertuig 2 achter voertuig 1 en houdt deze een opvolgafstand aan tot de achterkant van voertuig 1. Beide auto's hebben dezelfde snelheid v . Bestuurder van auto 2 houdt bij het kiezen van een veilige opvolgafstand het volgende scenario aan:

- Mijn voorligger gaat plotseling hard remmen tot aan stilstand;
- Ik heb een reactietijd van τ seconden;

- Ik heb een remvertraging van $a \text{ m/s}^2$ (met $a > 0$);
- Als ik aan het eind van mijn remmanoeuvre achter mijn voorganger tot stilstand kom, wil ik nog een marge van L_m over hebben.
- Ik neem aan dat de remvertraging van mijn voorligger α maal mijn remvertraging a is.

Het zal duidelijk zijn dat een voorzichtige bestuurder zal aannemen $\alpha < 1$ en een waaghals $\alpha > 1$. In feite is de veronderstelling $\alpha < 1$ voor een willekeurige bestuurder wel voorstelbaar, maar niet voor een bestuurder die representatief moet zijn voor een hele rij elkaar volgende bestuurders. Dit leidt er namelijk toe dat de beschikbare remvertraging stijgt met het rangnummer in de rij en boven fysiek mogelijke waarden komt. We zullen derhalve eisen $\alpha \geq 1$.



FIGUUR 2.1: COMPONENTEN VAN DE COMPLETE REMMANOEUVRE [BRON: LEUTZBACH, 1988]

Figuur 2.1 toont de componenten van de opvolgafstand s . In formulevorm:

$$s + \frac{v^2}{2\alpha a} = L_{vlg} + v\tau + \frac{v^2}{2a} + L_m \quad (2.2)$$

of in woorden:

bruto opvolgafstand + remweg leider = lengte voertuig volger + reactie-'afstand' + remweg volger + marge

Stel $L_{vlg} + L_m = s_0$ dan geldt:

$$s = s_0 + v\tau + \frac{v^2}{2a} \left(1 - \frac{1}{\alpha} \right) \quad (2.3)$$

In de formules 2.2 en 2.3 komen voor:

- s : minimaal benodigde opvolgafstand [m]
- v : snelheid van de volger [m/s]
- a : remvertraging van de volger [m/s^2]
- L_{vlg} : lengte volgvoertuig [m]
- τ : reactietijd van de volger [s]
- α : remvermogen leider als fractie van remvermogen volger
- L_m : marge bij stilstand [m]

Uit de opvolgafstand en de daarmee samenhangende opvolgtijd kan worden afgeleid hoe groot de verkeersstroom is die de rijstrook kan verwerken per tijdseenheid (de inverse van de opvolgtijd). Dat gegeven is een belangrijke input voor de dimensionering van de weg. Daarover gaat de volgende paragraaf.

2.4 Wegcapaciteit

Voor de wegontwerper is het van belang te weten hoeveel verkeer op de te ontwerpen weg verwacht kan worden en wat voor wegtype (bijvoorbeeld het aantal rijstroken) in die behoefte kan voorzien.

In deze paragraaf wordt eerst uitgelegd wat onder intensiteit (de verkeersvraag) en de capaciteit (verkeersaanbod) wordt verstaan. Daarna wordt uitgewerkt hoe volgens de Amerikaanse Highway Capacity Manual (HCM) de benodigde capaciteit kan worden bepaald. Tot slot wordt aangegeven hoe dit is vertaald in de Nederlandse ontwerprichtlijnen.

Onder **intensiteit** wordt het aantal voertuigen verstaan dat een bepaald wegvak gedurende een tijdsperiode passeert; hiervoor kan een jaar, een dag of een uur worden genomen. In de Amerikaanse literatuur wordt het begrip *rate of flow* gebruikt (stamt uit HCM 1985). De *rate of flow* in vtg/h wordt bepaald door de 15-minuten-intensiteit met vier te vermenigvuldigen. Intensiteit en *rate of flow* zijn dus verschillende begrippen: intensiteit is het werkelijke aantal voertuigen dat passeert gedurende de tijdsperiode, terwijl *rate of flow* een maat is voor de variatie van de intensiteit over de beschouwde periode. Tabel 2.8 geeft daarvan een voorbeeld.

tijdsperiode	intensiteit (vtg/15 min)	rate of flow (vtg/h)	intensiteit (vtg/h)
7.00 – 7.15 h	1.000	4.000	
7.15 – 7.30 h	1.200	4.800	
7.30 – 7.45 h	1.100	4.400	
7.45 – 8.00 h	1.000	4.000	
7.00 – 8.00 h			4.300

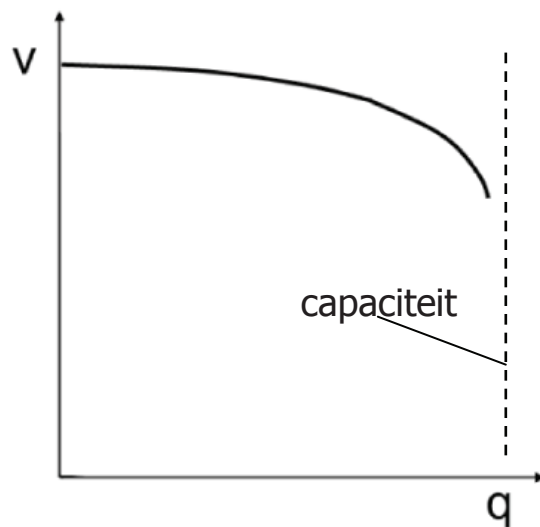
TABEL 2.8: INTENSITEIT EN RATE OF FLOW IN EEN SPITSUUR

Indien de uurintensiteit van een tweestrooksbaan van een autosnelweg 4300 vtg bedraagt, de *rate of flow* per 15 minuten varieert en het wegontwerp op 4500 vtg/h zou worden gebaseerd, zou gedurende een interval van 15 minuten de capaciteit overschreden worden, wat congestie tot gevolg kan hebben. Als men alleen naar de intensiteit van 7 tot 8 uur zou hebben gekeken, zou men denken dat de intensiteit kleiner is dan de capaciteit. Om de variatie in de intensiteit te verdisconteren is in de HCM 1985 de spitsuurfactor PHF ingevoerd. De PHF is de spitsuurintensiteit gedeeld door de grootste *rate of flow* (4.300 : 4.800).

De maximale intensiteit is het maximale aantal voertuigen dat gedurende een bepaalde tijdseenheid een denkbeeldige plaats (raai) passeert. Uit praktijkwaarnemingen is gebleken dat dit over het jaar heen een allerm minst stabiel aantal is; het is afhankelijk van onder meer verkeerssamenstelling, zicht, weggeometrie, weersomstandigheden en rijstrookbreedte. Er is sprake van een stochastisch proces. Voor de dimensionering van een weg wil men met één waarde rekenen en daarvoor wordt de intensiteit genomen die maar in een beperkt aantal gevallen wordt overschreden (zeg 15%). Die waarde wordt de capaciteit genoemd.

Tussen de intensiteit en de snelheid bestaat een relatie, zoals is weergegeven in Figuur 2.2. Bij kleine verkeersaantallen neemt de snelheid niet af bij een verkeerstoename. Iedere automobilist kan vrijelijk zijn snelheid kiezen (de zogenaamde free flow speed). Dit is terug te zien in het vlakke linkergedeelte van de grafiek. Wanneer het echter drukker wordt op de weg, moeten de snellere voertuigen zich aanpassen aan de tragere en gaat de snelheid omlaag. Het rechtergedeelte van de grafiek laat dit zien door de kromming naar beneden. De grafiek in Figuur 2.2 laat de relatie tussen de snelheid en intensiteit zien voor de situatie waarin geen congestie optreedt. Wanneer de

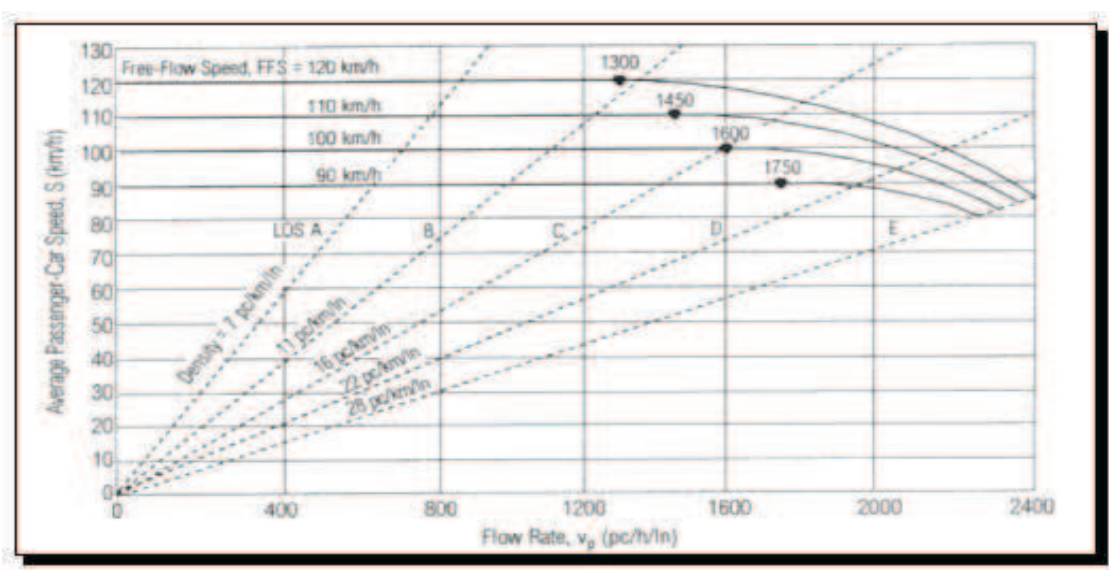
intensiteit groter is dan de capaciteit, dreigt er congestie en geldt een andere relatie tussen de snelheid en intensiteit. Hierop wordt verder ingegaan in Deel 4 Hoofdstuk 1.



FIGUUR 2.2: VERHOUDING TUSSEN SNELHEID (v) EN INTENSITEIT (Q) (ZONDER CONGESTIE)

Er zijn verschillende methoden waarmee de wegontwerper de benodigde capaciteit kan bepalen. Een van die methoden is beschreven in de Highway Capacity Manual (HCM). Volgens deze methode wordt de benodigde capaciteit bepaald op basis van het gewenste afwikkelingsniveau.

Als op een wegvak een intensiteit optreedt die de capaciteit nadert, is het zogenoemde afwikkelingsniveau laag. Met het afwikkelingsniveau ("level of service", LOS) wordt de toelaatbare intensiteit bedoeld behorend bij een gewenste rijkwaliteit van de verkeersstroom in een bepaalde situatie. Het afwikkelingsniveau wordt met een letter aangeduid: A is het hoogste en E het laagste niveau. Naarmate een weg meer een verbindende verkeersfunctie dan een ontsluitende of toegangsfunctie vervult, wordt een lager afwikkelingsniveau (C en D) toelaatbaar geacht. In een woonstraat is een capaciteitsbelasting ontoelaatbaar, terwijl dat voor een autosnelweg niet het geval is. Voor al de hierna volgende wegvoorzieningen en vervoerwijzen nadert de intensiteit de capaciteit conform de HCM bij afwikkelingsniveau E.



FIGUUR 2.3: AFWIKKELINGSNIVEAUS A T/M E ($pc/h/ln$ = PAE PER UUR PER RIJSTROOK)

In Figuur 2.3 is de verhouding tussen de snelheid en de intensiteit voor vier verschillende snelheden weergegeven. De intensiteit is uitgedrukt in pae/h/strook. Pae is de afkorting van personenauto-equivalent (1 pae staat voor een gemiddelde personenauto; voor vrachtauto's wordt vaak 1,5 of 2 pae toegepast omdat de vrachtauto een groter voertuig is dat bovendien door zijn rijkenarakteristiek een groter beslag legt op de wegcapaciteit).

De vorm van de grafieken in Figuur 2.3 komt overeen met die uit Figuur 2.2. In Figuur 2.3 onderscheiden de stippellijnen de afwikkelingsniveaus A t/m E.

Voorbeeld

Op een nieuwe autosnelwegverbinding wordt een verkeersintensiteit verwacht van 5500 pae/h in een maatgevend spitsuur voor de drukste rijrichting. Voor de nieuwe weg is afwikkelingsniveau C gewenst bij een free flow speed van 100 km/h. Hoeveel rijstroken moet de autosnelweg in deze rijrichting hebben om aan dit afwikkelingsniveau te voldoen?

In Figuur 2.3 is te zien dat de maximum flow rate voor afwikkelingsniveau C bij de kromme van een free flow speed van 100 km/h gelijk is aan 1600 pae/h/strook. Er zijn dus $5500/1600 = 3,44 \rightarrow 4$ rijstroken nodig om aan afwikkelingsniveau C te kunnen voldoen.

Bij het bepalen van het benodigde aantal rijstroken voor een bepaald afwikkelingsniveau moet rekening worden gehouden met een aantal factoren die invloed hebben op de intensiteit (vraagzijde) en de capaciteit (aanbodzijde).

Aan de vraagzijde:

- het aandeel verkeer van de etmaalintensiteit dat in het maatgevende spitsuur plaatsvindt;
- de seizoensfactor, waarmee fluctuaties tussen seizoenen worden verdisconteerd;
- de intensiteitsverdeling naar rijrichting in het spitsuur;
- de PHF-factor (spitsuurfactor), waarmee de *rate of flow* wordt verrekend.

Aan de aanbodzijde:

- de breedte van de rijstrook;
- de vrachtautofactor (o.a. i.v.m. hellingen)
- de bestuurdersfactor, die aangeeft of de bestuurders bekend zijn met de weg (veel forensen) of niet (veel toeristen)

Voor de capaciteit per rijstrook werd in de HCM's tot 1994 2000 pae/h/strook aangehouden. In dat jaar is men tot een verhoging van de capaciteit met 10 % tot 2200 pae/h/strook overgegaan, als gevolg van de toegenomen routine van de bestuurders. In feite is deze waarde vastgesteld voor een zogenoemde ideale weg- en verkeerssituatie: vlak en recht, 3,60 m brede rijstroken, geen bermvrees veroorzakende obstakels langs de weg en ter plaatse goed bekend verkeer. Afwijkingen van deze ideale situatie worden in de bovengenoemde aanbodcorrectiefactoren aangebracht, bijvoorbeeld lengte en steilte van hellingen in de vrachtautofactor.

De HCM dient als basis in het wegontwerp. In Nederland werd tot voor kort door de wegontwerpers gebruik gemaakt van de ontwerprichtlijnen ROA (voor autosnelwegen) en RONA (voor niet-autosnelwegen). In 2007 is de ROA vervangen door de NOA (Nieuwe Ontwerprichtlijn voor Autosnelwegen). In 2002 is een herziening van de RONA uitgegeven in de vorm van het Handboek Wegontwerp. Zowel NOA als het Handboek wordt momenteel geëvalueerd.

In Tabel 2.9 is een van de tabellen uit de NOA opgenomen, waarmee de capaciteit van een autosnelweg kan worden bepaald. Die is in de tabel afhankelijk van het aantal rijstroken en het percentage vrachtverkeer. Er is uitgegaan van een rijstrookbreedte van 3,50 m en van goede omstandigheden (droog, daglicht, voldoende zicht). Wanneer de rijstroken zijn versmald of wanneer de omstandigheden niet optimaal zijn, is de capaciteit lager.

aandeel vrachtverkeer	aantal rijstroken				
	2	3	4	5	6
0%	4.650	7.250	9.700	12.150	14.450
1%	4.627	7.214	9.652	12.090	14.378
2%	4.604	7.178	9.604	12.030	14.307
3%	4.581	7.143	9.557	11.970	14.236
4%	4.559	7.108	9.510	11.912	14.167
5%	4.537	7.073	9.463	11.854	14.098
6%	4.515	7.039	9.417	11.796	14.029
7%	4.493	7.005	9.372	11.739	13.961
8%	4.471	6.971	9.327	11.683	13.894
9%	4.450	6.938	9.282	11.627	13.828
10%	4.429	6.905	9.238	11.571	13.762
11%	4.408	6.872	9.194	11.517	13.697
12%	4.387	6.840	9.151	11.462	13.632
13%	4.366	6.808	9.108	11.408	13.568
14%	4.346	6.776	9.065	11.355	13.505
15%	4.326	6.744	9.023	11.302	13.442
16%	4.306	6.713	8.981	11.250	13.380
17%	4.286	6.682	8.940	11.198	13.318
18%	4.266	6.651	8.899	11.147	13.257
19%	4.247	6.621	8.858	11.096	13.196
20%	4.227	6.591	8.818	11.045	13.136
21%	4.208	6.561	8.778	10.995	13.077
22%	4.189	6.532	8.739	10.946	13.018
23%	4.170	6.502	8.700	10.897	12.960
24%	4.152	6.473	8.661	10.848	12.902
25%	4.133	6.444	8.622	10.800	12.844

TABEL 2.9: RICHTWAARDEN VOOR DE CAPACITEIT VAN AUTOSNELWEGEN (MVTG/H) [NOA, 2007]

3 ONTWERPELEMENTEN

In dit hoofdstuk wordt het wegontwerp voor verschillende basis-ontwerpelementen op basis van de vier ontwerpaspecten uitgewerkt. De volgende ontwerpelementen worden in de komende paragrafen beschreven:

- Dwarsprofiel van de weg
- Horizontaal alignement
 - o Rechtstand
 - o Boog
 - o Overgangsboog
 - o Algemeen
- Verticaal alignement
 - o Langshelling
 - o Afrondingsbogen
 - o Algemeen
- Knooppunten, kruispunten en rotondes

In de teksten is gebruik gemaakt van enkele definities die hieronder kort zijn toegelicht.

Een **wegvak** is een in lengterichting begrensd gedeelte van een weg tussen twee knooppunten of twee aansluitingen (zie 3.6).

Een **uitvoegstrook** is een aanliggende strook verharding langs de hoofdweg die afslaand verkeer in staat stelt uit de hoofdstroom uit te voegen. Het uitvoegen resulteert in een afzonderlijke rij voertuigen die met aangepaste snelheid de hoofdweg kunnen verlaten.

Een **invoegstrook** is een aanliggende strook verharding langs de hoofdweg die verkeer vanaf de zijweg in staat stelt met aangepaste snelheid in de hoofdstroom in te voegen. Het invoegen resulteert in één ineengeschoven rij voertuigen.

Een **weefvak** is een onderdeel van een wegvak bestaande uit de hoofdrijbaan met een ter zijde gelegen invoegstrook die stroomafwaarts overgaat in een uitvoegstrook. Kenmerkend bij een weefvak is dat het in- en uitvoegende verkeer elkaar onder een zeer scherpe hoek kruist over een doorgaans niet al te grote afstand. Deze manier van kruisen wordt "weven" genoemd.

3.1 Dwarsprofiel

3.1.1 Inleiding

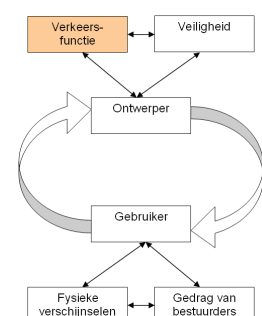
Een dwarsprofiel is de verticale doorsnede loodrecht op de lengteas van de weg. Dit profiel kan representatief zijn voor een bepaald wegvak (algemeen geldend) of bewust gekozen op een bepaalde plaats (alleen dáár geldig). Deze doorsnede geeft de vorm weer van de weg in dwarsrichting met de samenstellende elementen in afmeting en hoogteligging. In de volgende subparagrafen wordt per ontwerpaspect het dwarsprofiel van een weg besproken.

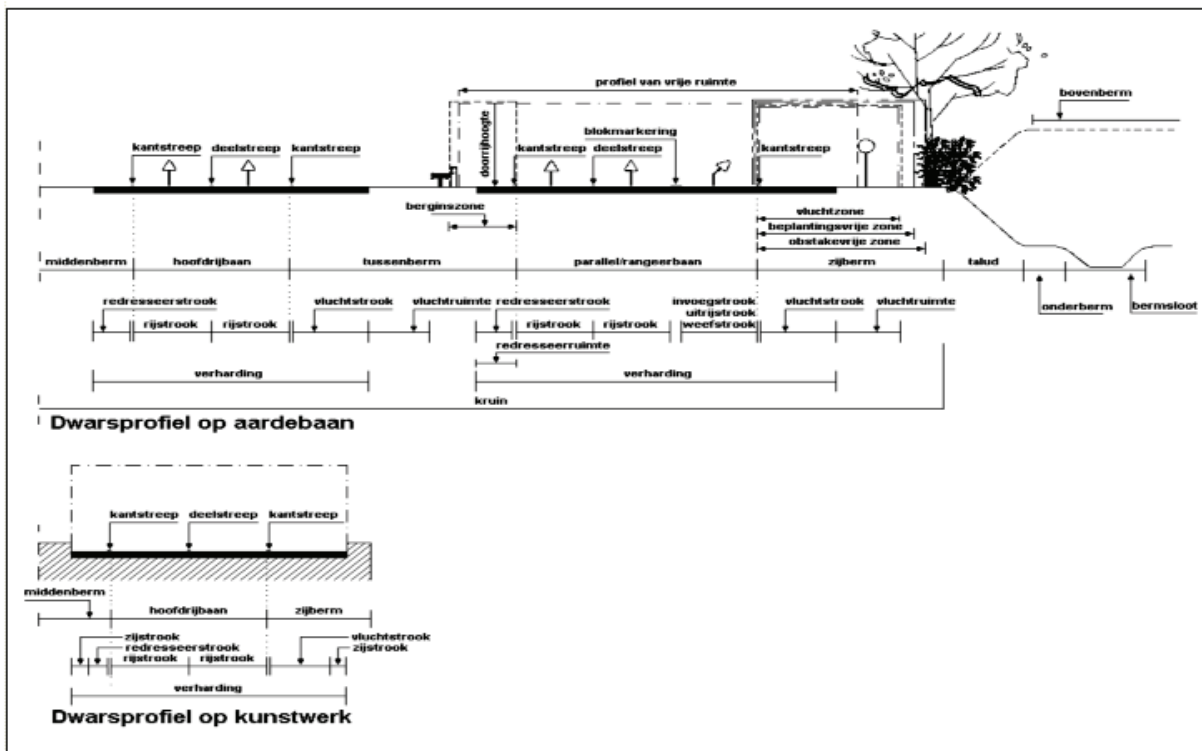
3.1.2 Verkeersfunctie

In Figuur 3.1 zijn enkele belangrijke dwarsprofiel-elementen weergegeven.

Onder de **rijbaan** wordt het aaneengesloten bereden gedeelte van de verharding verstaan. Alles wat buiten de kantstrepen ligt, wordt in principe gerekend tot de berm. Ontbreken kantstrepen (RONA-categorie VII en VIII), dan begint de berm naast de verharding. Een autosnelweg heeft twee rijbanen.

De **rijstrook** is een gedeelte van de rijbaan, begrensd door markering op het wegdek en bestemd voor één rij bewegende voertuigen.





FIGUUR 3.1: DWARSPROFIELELEMENTEN

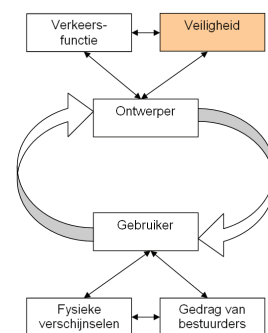
In Tabel 3.1 zijn de breedtes van de dwarsprofiel-elementen weergegeven, zoals het in de RONA is voorgeschreven. De dwarsprofiel-elementen uit de eerste kolom komen in de volgende subparagrafen aan bod. Voor wegen binnen de bebouwde kom is het niet eenvoudig om standaardmaten voor de wegbreedte te geven. Dit hangt van vele factoren af, zoals de verkeerssamenstelling, al dan niet vrijliggende fietspaden, erf- of verkeersfunctie van de weg, wel/geen aanliggende parkeerstroken. Voor de juiste dimensionering van dit type wegen wordt verwezen naar de Aanbevelingen voor Verkeersvoorzieningen binnen de bebouwde kom (ASVV, 2004).

3.1.3 Veiligheid

Bij de RONA-categorieën I t/m VI maakt nog een stukje verharding deel uit van de rijbaan: de **redesseeerstrook** (ook wel kortweg kantstrook genoemd), die aan enigszins uit de koers geraakte voertuigen gelegenheid tot koerscorrectie biedt.

In principe worden alleen langs autosnelwegen (RONA-categorie I en II) in de rijrichting rechts **vluchtstroken** aangelegd, met het oogmerk plaats te bieden aan gestrande voertuigen en voor gebruik door hulpdiensten. Bevat een rijbaan vier of meer rijstroken, dan wordt ook links een vluchtstrook aangebracht. Er is een tendens gaande om de vluchtstrook in speciale gevallen als aanvullende rijstrook te gebruiken: bij werk in uitvoering (tijdelijk), als busbaan (permanent), als spitsstrook of bij andere benuttingsmaatregelen. Dit verklaart de toenemende noodzaak naast de vluchtstrook een extra **vluchtruimte** te creëren. Waar mogelijk moet met deze nieuwe ontwikkeling rekening worden gehouden.

Voor voertuigen met panne die geen kans zien de vluchtstrook te bereiken, biedt aan de middenbermzijde de **bergingzone** uitkomst. Ook onderhoudsvoertuigen (herstel van geleiderail, verlichting) kunnen dan buiten de rijbaan gehouden worden.



element van dwarsprofiel	categorie								fietspaden		voet pad
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	->	<->	
Verhardings-breedte	11,25	10,45	7,50	7,20	7,20	6,00	4,50/ 5,50	3,00/ 3,50	2,00/ 2,50	2,75/ 3,50	1,50
rijstrook breedte	3,50	3,25	3,25	3,10	3,10	2,75	-	-	-	-	-
kantstrook¹⁾	0,80	0,50	0,45	0,45	0,45	0,20	-	-	-	-	-
vluchtstrook¹⁾	3,45	3,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
kantstreep	0,20	0,20	0,15	0,10	0,10	0,10	-	-	-	-	-
object-afstands-marge	1,50	1,00	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	-
bergingszone	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	1,50	1,00	-	0,50	0,50	-
obstakelvrije zone	10,00	10,00	6,00	4,50	4,50	3,00	2,00	1,50	1,00	1,00	-
zijberm	3,00	3,00	6,00	4,50	4,50	3,00	2,00	1,50	1,50	1,50	0,50
middenberm	12,00	12,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
tussenberm bij parallel-wegen	12,00	12,00	f.g.	f.g.	6,00	4,50	-	-	-	-	-
tussenberm bij fietspaden	12,00	12,00	f.g.	f.g.	4,50	3,00	-	-	-	-	-
tussenberm bij voetpaden	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50	0,50	-

¹⁾ inclusief kantstreep
f.g. = fysiek gescheiden

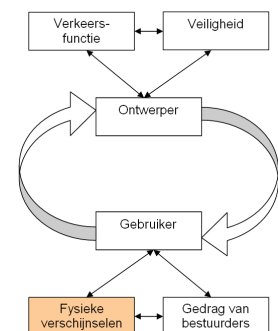
TABEL 3.1: BREEDTES VAN DWARSPROFIELELEMENTEN

In het ideale geval is de berm minstens even breed als de **obstakelvrije zone** (ovz). Onder obstakels worden voorwerpen, beplantings- en dwarsprofiel-elementen verstaan, die bij aanrijding ernstige schade kunnen veroorzaken aan het voertuig en/of (dodelijk) letsel aan de inzittenden. In die gevallen dat de gewenste breedte van de obstakelvrije zone (ovz) niet wordt gehaald, zal het obstakel door middel van een geleiderail moeten worden afgeschermd. Zie dit in verband met het vergevingsgezindheidsprincipe van duurzaam veilig (paragraaf 2.2.1)

3.1.4 Fysieke verschijnselen

Bij het ontwerpaspect 'verkeersfunctie' is al aangegeven dat de breedte van de rijstrook afhankelijk is van de toegestane snelheid. Bij hogere snelheden raakt een voertuig bij een kleine stuurbeweging sneller uit koers dan bij een lagere snelheid. Daarom is bij hoge snelheden een grotere rijstrookbreedte vereist.

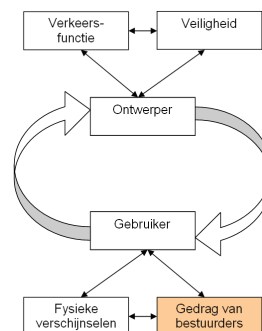
Een ander fysiek verschijnsel dat invloed heeft op het dwarsprofiel is de afwatering van de weg. Hiervoor wordt een minimale standaard dwarselling (afschot) aangehouden van 2 %. Alleen bij autosnelwegen met asfaltverharding is dit 2½ % vanwege de doorgaans grotere verhardingsbreedtes, en de grotere kans op rijsporen met daarin ongewenste plasvorming (gevaar voor aquaplaning). De onverharde zijbermen worden standaard onder 5 % afschot gelegd.



In de wegbermen kunnen taluds verwerkt zijn. Dit zijn hellingen in het dwarsprofiel. **Neergaande taluds** steiler dan 1:3 en liggend in de ovz, worden beschouwd als obstakels en moeten worden afgeschermd. Neergaande taluds tussen 1:3 en 1:6 en met afrondingsbogen van minimaal 9 meter kunnen worden toegepast binnen de ovz. Taluds van 1:6 of flauwer kunnen zonder meer deel uitmaken van de ovz. Opgaande taluds steiler dan 1:2 en met een kleinere straal van de onderafronding dan 6 meter worden als obstakels beschouwd. Een watergang dieper dan 1 meter kan ook als obstakel worden beschouwd.

3.1.5 Gedrag van bestuurders

De vormgeving van het dwarsprofiel is afhankelijk van de ruimte die bestuurders nodig hebben op de weg. Deze benodigde ruimte bepaalt het profiel van vrije ruimte. Het profiel van vrije ruimte is (in dwarsrichting gezien) de optelsom van twee componenten: de breedte van het ontwerpvoertuig en een **objectafstandsmarge**. Onder de objectafstandsmarge (**oam**) verstaan we de afstand tussen het voertuig en vaste voorwerpen naast de rijbaan. Deze maat is vastgesteld op een zodanige grootte dat er geen merkbaar schrikeffect van deze obstakels uitgaat. De **oam** is afhankelijk van de snelheid (zie Tabel 3.2)



Snelheid	Personenauto [m]	Vrachtauto [m]
120 km/h	1,50	nvt
100 km/h	1,35	nvt
80 km/h	1,00	1,00
50 km/h	0,50	0,50

TABEL 3.2: OBJECTAFSTANDMARGE VOOR MOTORVOERTUIGEN

De **oam** heeft niet alleen betrekking op vaste voorwerpen in de berm, maar ook op stilstaande voertuigen langs de kant van de rijbaan en evenzeer op rijdende "obstakels", zoals in te halen vrachtauto's op de rechterrijstrook. Bestuurders van personenauto's blijken in dat geval een **oam** van ca. 1,80 m in acht te nemen (dagmaat tussen de voertuigen). Dit betekent dat personenauto's tijdens zo'n manoeuvre aan de rand van de rijstrook kunnen komen, zodat de **oam** voor voorwerpen in de berm vanuit de kantstreep moet worden gemeten. De **oam** mag niet worden verward met de obstakelvrije zone. De obstakelvrije zone is een onderdeel van het dwarsprofiel dat uit veiligheidsoogpunt vrij moet blijven. De **oam** is de afstand die bestuurders tot objecten in acht nemen en is dus afhankelijk van het gedrag van de bestuurder.

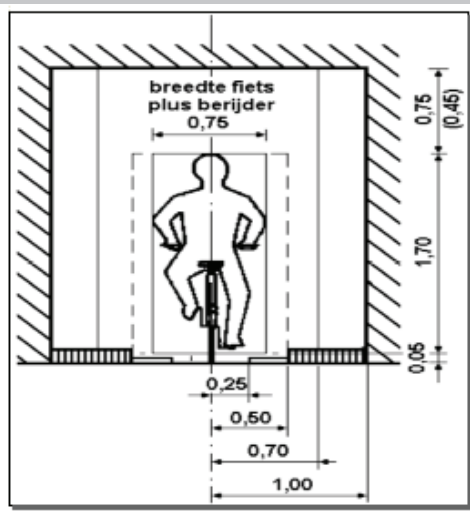
Het profiel van vrije ruimte kent een minimum-doorrijhoogte van 4,60 m. Deze maat is opgebouwd uit 4,00 m wettelijke maximum-hoogte voor vrachtauto's, 0,20 m voor de vering, 0,10 m voor extra lagen asfalt en 0,30 m extra marge ter onderdrukking van de "plafondvrees". Bij trams en trolleybussen moet bovendien nog rekening worden gehouden met de aanwezigheid van een bovenleiding. De rijdraad bevindt zich 5,50 m boven het wegdek. Bij onderdoorgangen kan de hoogte eventueel worden verkleind tot 4,60 m.

Afhankelijk van de verkeerssamenstelling zou in bepaalde situaties (urbane gebieden) overwogen kunnen worden met minder doorrijhoogte te volstaan. Men moet hiermee echter uiterst voorzichtig zijn. Voor hulpdiensten (brandweer!) mag geen enkele hoogtebelemmering worden opgeworpen.

(Brom)fietzers en voetgangers

Bij **(brom)fietzers** wordt uitgegaan van een breedte van 0,75 m (zie Figuur 3.2). Dit is de wettelijk maximale afmeting van (brom)fiets + berijder. De geconstateerde obstakelvreesafstanden, gemeten vanuit de rijlijn, luiden:

- 0,25 m t.o.v. groen à niveau of trottoirband lager dan 5 cm,
- 0,50 m t.o.v. trottoirband van 5 cm of hoger,
- 0,70 m t.o.v. vaste voorwerpen (masten, borden, paaltjes, bomen e.d.),
- 1,00 m t.o.v. gesloten wand,
- 2,50 m t.o.v. plafond.



FIGUUR 3.2: PROFIEL VAN VRIJE RUIMTE VOOR (BROM)FIETZERS

Voor **voetgangers** heeft het gewenste profiel van vrije ruimte een breedte van 0,70 m + twee marges van 0,15 m aan weerszijden = 1,00 m. Bij korte vernauwingen in een looproute kunnen de marges worden weggelaten (0,70 m); bij puntvernauwingen (lichtmasten, verkeersborden, bomen e.d.) kan met een breedte van 0,50 m worden volstaan. Voor slechtzienden, slechtlopenden en rolstoelgebruikers dienen de voornoemde maten met 0,50 m te worden vergroot. De vrij te houden hoogte bedraagt bij voorkeur 2,50 m, met 2,25 m als minimum.

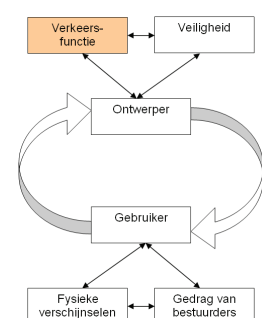
3.2 Horizontaal alignement: rechtstand, boog en overgangsboog

3.2.1 Verkeersfunctie

Rechtstand

Toepassing van lange rechtstanden in het alignement van een stroomweg buiten de bebouwde kom wordt zoveel mogelijk vermeden om een voldoende afwisselend wegbeeld te verkrijgen. Waar ze niet te vermijden zijn, moet ernaar worden gestreefd de lengte van de rechtstanden te beperken tot in meters van 20 x de ontwerpsnelheid (in km/h). Indien mogelijk worden lange rechtstanden vervangen door zeer ruime bogen met stralen van 50.000 à 200.000 meter.

Rechtstanden zijn wel goed inpasbaar bij knoop- en kruispunten en aansluitingen in verband met de afwezigheid van parallax (de perspectivisch schijnbare verschuiving van wegbeeldelementen die in bogen kan optreden,



zoals rijstrookpijlen op bewegwijzeringspanelen die niet boven de bedoelde rijstroken lijken te hangen). Ook kunnen rechtstanden nodig zijn in geval van bundeling met bestaande rechte infrastructuur. In verband met de rasterstructuur van het wegennet binnen de bebouwde kom en de daar voorkomende lagere snelheden zijn rechtstanden van beperkte lengte toelaatbaar.

Als twee bogen met tegengestelde draaiingsrichting direct op elkaar worden aangesloten (zonder S-clotoïde, zoals beschreven in paragraaf 3.4), ontstaat een knik in het wegbeeld. Daarom verdient het aanbeveling tussen deze bogen een rechtstand aan te brengen met een lengte [m] van minimaal 2 x de ontwerpsnelheid [km/h].

Een korte rechtstand tussen twee gelijkgerichte bogen geeft de indruk van een tegenboog. Dit kan worden voorkomen door in plaats van een rechtstand een zeer ruime tussenboog toe te passen, waarvan de straal in de orde van 10 à 25 x die van de te verbinden bogen bedraagt. Mocht een ruime tussenboog niet inpasbaar zijn, dan moet een rechtstand worden gebruikt met een lengte [m] van ten minste 4 x de ontwerpsnelheid [km/h].

Boog

De horizontale boog is het basiselement van het wegontwerp. Voor autosnelwegen zijn drie klassen boogstralen te onderscheiden, elk met een eigen toepassingsgebied:

- grote boogstralen in plaats van rechte tracégedeelten ($50.000 \text{ m} < R < 100.000 \text{ m}$);
- gewone boogstralen in gebogen tracégedeelten ($1000 < R < 50.000 \text{ m}$);
- krappe boogstralen buiten de hoofdrijbaan ter plaatse van knooppunten en aansluitingen ($50 < R < 1000 \text{ m}$).

Voor wegen van lagere categorieën zijn de boogstraalgrenzen proportioneel lager.

Overgangsboog

Tussen rechtstand en boog en tussen bogen onderling worden overgangsbogen toegepast. Een overgangsboog heeft de volgende functies:

- het mogelijk maken van een geleidelijke stuurverdraaiing om de zijdelingse versnelling geleidelijk te doen veranderen;
- het plaats bieden aan de verkantingsovergang wanneer deze nodig is;
- het plaats bieden aan een geleidelijke opbouw van de bochtverbreding wanneer deze nodig is;
- het vermijden van knikken in het wegbeeld.

Afhankelijk van de ontwerpsnelheid moeten bij de volgende cirkelbogen overgangsbogen worden toegepast:

v [km/h]	120	100	90	80	70	60	50
R [m]	< 4000	< 2500	< 2000	< 1700	< 800	< 900	< 300

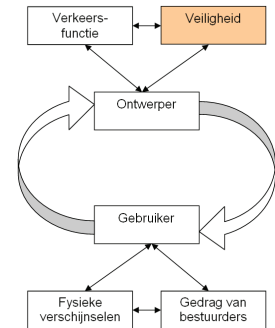
TABEL 3.3: BOVENGRENZEN VAN BOOGSTRALEN WAARONDER OVERGANGSBOGEN NOODZAKELIJK ZIJN

De in de RONA gehanteerde snelheden zijn 100, 80 en 60 km/h. De ROA en de RONA zijn in verschillende tijdperiodes tot stand gekomen; in de tussenliggende tijd zijn diverse inzichten gewijzigd. Dit verklaart de niet consistente straalgroottes in het lagere snelheidsgebied voor de toepassing van overgangsbogen.

3.2.2 Veiligheid

Rechtstand

Zoals in de vorige subparagraaf is aangegeven, kleven aan de rechtstand nadelen als monotonie, een lager attentieniveau en slecht zicht op verkeer stroomafwaarts. Bovendien ontstaan knikken in het alignement als rechtstanden door bogen met te krappe straal worden verbonden. Deze aspecten zijn nadelig voor de verkeersveiligheid, dus daarom moeten rechtstanden in een wegontwerp worden vermeden.



Boog

In tegenstelling tot de rechtstand, zorgen bochten juist voor een afwisselend wegbeeld en een hoger attentieniveau bij de bestuurder. De boog dient echter duidelijk herkenbaar te zijn, zodat deze op een veilige manier doorlopen kan worden. Deze herkenbaarheid en overzichtelijkheid van de bocht kan worden beperkt door vaste objecten in de binnenbocht. In paragraaf 3.5 is uitgewerkt hoe de minimale zichtafstand in een bocht kan worden berekend.

Overgangsboog

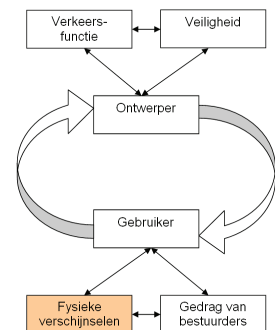
De overgangsboog zorgt ervoor dat er geen abrupte stuurverdraaiingen tijdens het berijden van de boog nodig zijn. In een overgangsboog kan het stuur geleidelijk worden gedraaid, zodat de boog rustig en veilig kan worden ingestuurd.

3.2.3 Fysieke verschijnselen

Verkanting

De berijdbaarheid van een boog wordt bepaald door de relatie tussen snelheid, boogstraal, zijdelingse wrijving en verkanting. Onder verkanting wordt niet alleen de standaard dwarshelling (afschot) verstaan, maar meer specifiek een vergroting van de dwarshelling die bij krappere bogen nodig kan zijn om de middelpuntvliedende kracht op voertuig en inzittenden te reduceren.

Er is een onderscheid tussen positieve en negatieve verkanting. Een positieve verkanting helpt mee aan de reductie van de centrifugaalkracht (in een linksdraaiende boog is de afwatering naar links). Bij een negatieve verkanting (of tegenverkanting) is er een tegenspraak tussen draai- en afwateringsrichting. Zeer grote bogen kunnen zonder rijtechnische bezwaren onder tegenverkanting worden gelegd, die dan 2 % of 2,5 % bedraagt. Wanneer de boogstraal kleiner wordt, zal eens een ondergrenswaarde worden bereikt waarbij het uit rijtechnische en comfortoverwegingen nog net acceptabel is de boog onder de verkeerde verkanting te nemen. Voornoemde ondergrenswaarde voor de boogstraal fungeert dan als omslaggrenswaarde tussen toepassing van positieve en negatieve verkanting.



De Nederlandse richtlijnen voor wegontwerp houden een lineair verband aan tussen de snelheid en de zijdelingse wrijvingsweerstand. De toegelaten wrijving is dan ook verdisconteerd in de formule 3.1, die het dynamische evenwicht weergeeft tussen boogstraal, snelheid en verkanting.

$$R \geq \frac{7v^2}{210 - v + 9h} \quad (3.1)$$

waarin:

R: boogstraal [m]
v: ontwerpsnelheid [km/h]
h: verkanting [%]

Voor elke ontwerpsnelheid kan nu op eenvoudige wijze de omslaggrenswaarde voor de boogstraal worden berekend door voor $h = 2,5$ in te vullen. Voor $v = 120$ km/h wordt $R = 1500$ m. Bogen met $R \geq 1500$ m mogen in principe in tegenverkanting worden gelegd, maar aangeraden wordt om ook boven dit minimum een positieve verkanting toe te passen, tot een straalgrootte van 2,5 à 3 x dit minimum (afgerond 4000 m). Er bestaat dus naast een verplichte omslaggrenswaarde ook nog een gewenste omslaggrenswaarde.

Bogen met $R < 1500$ m (nog steeds voor $v = 120$ km/h) krijgen altijd een positieve verkanting, oplopend tot 5 %. Dit is de maximum-waarde die voor hoofdrijbanen van auto(snel)wegen wordt gehanteerd. Invulling van $h = 5$ levert $R = 750$ m op. In het straalgebied tussen 1500 en 750 m wordt de verkanting lineair geïnterpoleerd.

Voor lagere snelheden gelden dezelfde principes. In Tabel 3.4 is voor diverse snelheden het verband af te lezen tussen straalgrootte en verkanting.

Opeenvolgende boogstralen moeten zo worden gekozen dat deze doorreden kunnen worden zonder al te grote snelheidsvermindering. Bij twee aansluitende bogen met dezelfde draaiingsrichting kan de onveiligheid aanzienlijk toenemen wanneer de stralen in een onevenwichtige verhouding tot elkaar worden gekozen, dat wil zeggen met een verschil van een factor twee of groter.

Boogstraal [m]	Verkanting [%]									
Snelheid [km/h]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
120	1018	933	862	800	747	700	659	622	589	560
110	777	718	667	623	584	550	520	492	468	446
100	588	547	511	479	452	427	405	385	366	350
90	440	411	386	363	344	326	310	295	282	270
80	322	303	285	270	256	243	232	222	212	204
60	158	150	142	135	129	124	118	114	109	105
50	104	98	94	89	85	82	78	75	73	70
30	33	32	30	29	28	27	26	25	24	23

TABEL 3.4: SAMENHANG TUSSEN SNELHEID, STRAALGROOTTE EN VERKANTING

Bochtverbreding

De achterwielen van een voertuig beschrijven bij het doorlopen van een boog een meer naar binnen gelegen baan dan de voorwielen. Bij krappe bogen (boogstraal 300 m of kleiner) is bochtverbreding noodzakelijk. Voor de vaststelling van de bochtverbreding is (afgezien van de werkelijke verkeerssamenstelling) de trekker met oplegger het maatgevende voertuig.

In Tabel 3.5 is de gewenste bochtverbreding per rijstrook afgerond op 5 cm aangegeven. De in de tabel genoemde waarden gelden voor booglengten van ten minste 10 m. Voor kortere booglengten kan de bochtverbreding naar evenredigheid worden verminderd.

De bochtverbreding wordt aangebracht aan de binnenzijde van elke rijstrook. De overgangsboog (zie paragraaf 3.4) wordt benut om deze verbreding geleidelijk te laten verlopen, zodat bij het begin van de cirkelboog de benodigde breedte volledig aanwezig is.

horizontale boogstraal binnenbocht (R_{hor} in m)	bochtverbreding per rijstrook (m, afgerond)
70	0,60
80	0,50
90	0,45
100	0,40
120	0,35
150	0,30
170	0,25
200	0,20
250	0,15
300	0,15

TABEL 3.5: BOCHTVERBREIDING PER RIJSTROOK BIJ VERSCHILLENDE HORIZONTALE BOOGSTRALEN

Clotoïde

Bij de overgangsboog spelen een aantal fysieke verschijnselen een rol. In de overgangsboog wordt het verschil in wegverkanting tussen de rechtstand en de boog (of tussen twee bogen met verschillende boogstraal) overbrugd. Deze verkantingsovergang stelt een aantal eisen aan de overgangsboog, vanwege het rijcomfort en de afwatering. Deze eisen worden aan het einde van deze subparagraaf beschreven.

Als overgangsboog wordt sinds de jaren zestig de clotoïde toegepast. Deze kromme is de baan die wordt doorlopen indien de snelheid van het voertuig en de snelheid van de stuurverdraaiing constant zijn, met als gevolg dat de zijdelingse versnelling (mv^2/R) lineair toeneemt.

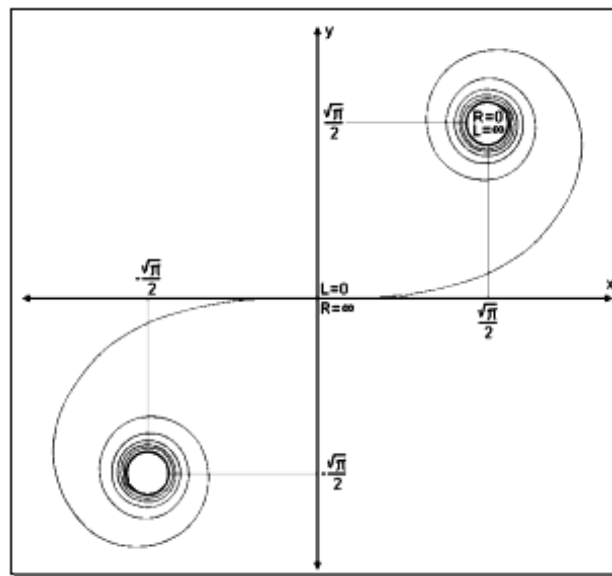
De clotoïde is een centraal symmetrische dubbelspiraal die zich vanuit de oorsprong (het buigpunt, zie Figuur 3.3) indraait tot een asymptotisch punt. De meest kenmerkende eigenschap van de clotoïde is dat de ontwikkelde lengte vanaf de oorsprong tot elk willekeurig punt op de clotoïde omgekeerd evenredig is met de straalwaarde in dat punt (c.q. recht evenredig met de kromming). Deze eigenschap staat borg voor een vloeiende overgang van rechtstand naar boog. De clotoïde is vooral bij bogen met kleine stralen een effectieve oplossing. In de geometrie van het wegontwerp wordt een klein deel van deze kromme gebruikt.

De berekeningsformule van de clotoïde is:

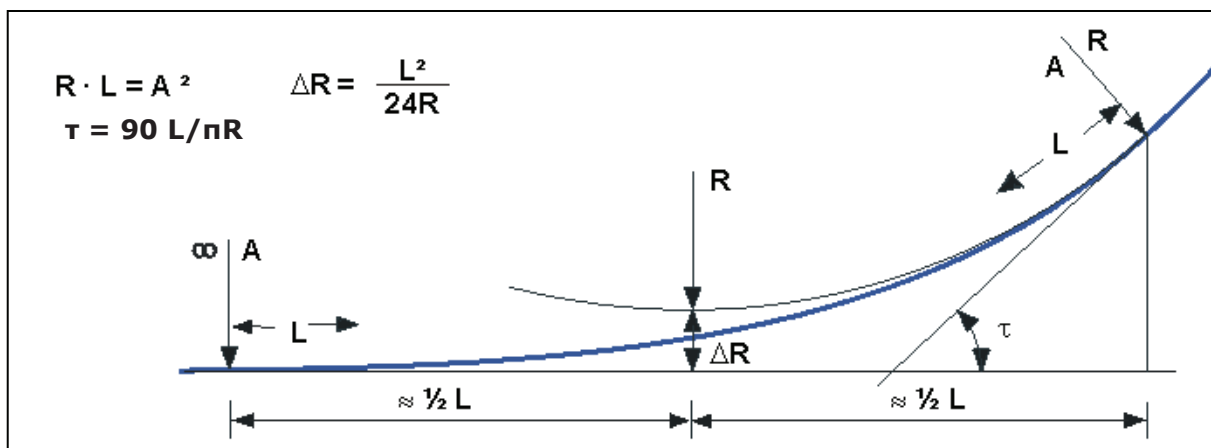
$$A^2 = R L \quad (3.2)$$

waarin:

- A : parameter van de clotoïde [m]
- R : boogstraal in een punt op de clotoïde [m]
- L : ontwikkelde lengte langs de clotoïde vanaf de oorsprong tot dat zelfde punt [m]



FIGUUR 3.3: CLOTOÏDE VOOR DE OVERGANGSBOOG



FIGUUR 3.4: PARAMETERS VAN DE CLOTOÏDE

De clotoïde met parameter 1 wordt de eenheidsclotoïde genoemd; alle clotoïden zijn gelijkvormig en kunnen daarom uit de eenheidsclotoïde worden afgeleid door vermenigvuldiging met parameter A .

Essentieel is dat tussen rechtstand en cirkel enige ruimte in dwarsrichting aanwezig moet zijn om de overgangsboog in te passen (zie Figuur 3.4). Deze ruimte heet de *shift* (ΔR). Als A en R gekozen zijn, ligt ΔR vast. Omgekeerd, als R en ΔR vastliggen, is er slechts één clotoïde (met een unieke A -waarde) die de ruimte tussen rechtstand en cirkel overbrugt. Als twee van de drie parameters bekend zijn, volgt daaruit de derde.

$$\Delta R = \frac{A^4}{24 R^3} = \frac{L^2}{24 R} \quad (3.3)$$

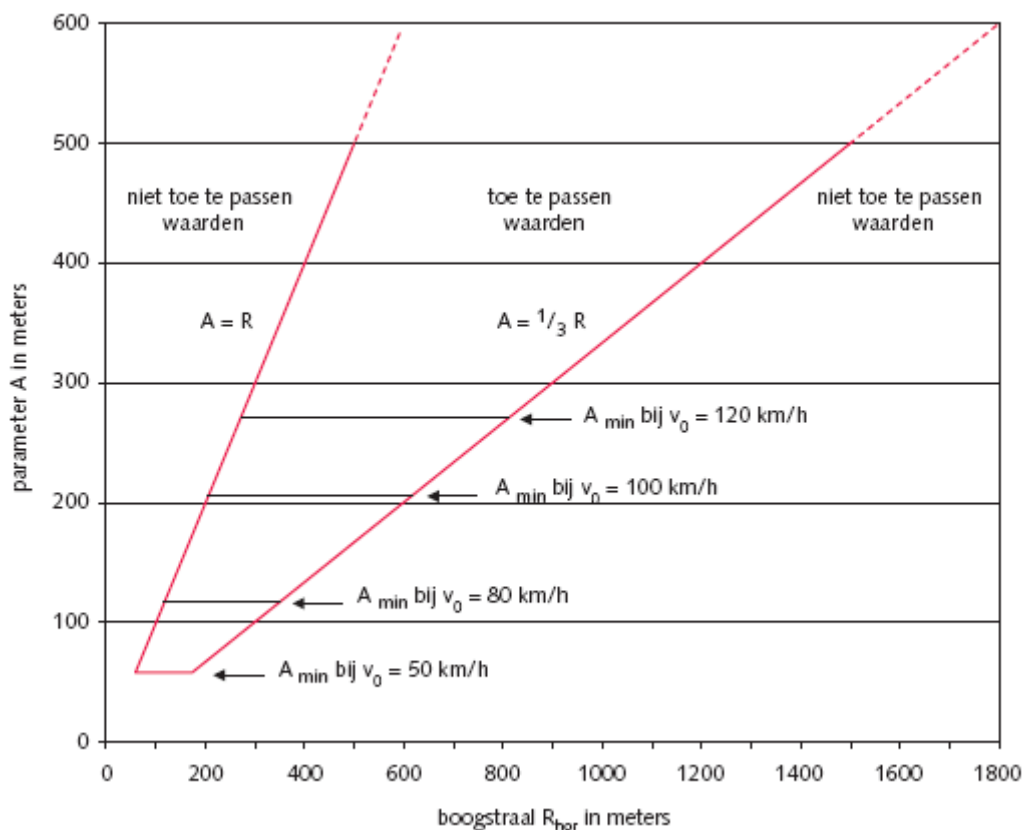
De parameter A van de clotoïde moet zoveel mogelijk aan vijf eisen voldoen:

1. de **optische eis**: A wordt in beginsel zo klein mogelijk gekozen. Dit leidt tot de volgende grenswaarden:
 - de clotoïde moet de richtingsverandering duidelijk inleiden; hiervoor is een minimale hoekverdraaiing nodig. Dit wordt bereikt met $A \geq R/3$;

- waar zicht op de boog nodig is in verband met snelheidsaanpassing, moet een deel van de cirkelboog binnen het functionele gezichtsveld liggen, dat wil zeggen $A \leq R$.
- 2. de **comforteis**: de toename van de zijdelingse versnelling moet binnen bepaalde grenzen blijven. De minimale parameter A is dan:

$v_o = 120$ km/h:	A	= 270 m;
$v_o = 100$ km/h:	A	= 205 m;
$v_o = 80$ km/h:	A	= 115 m;
$v_o = 50$ km/h:	A	= 60 m.
- 3. de **esthetische eis**: er moet een vloeiende vormgeving ontstaan die niet misleidend of hinderlijk is, bijvoorbeeld een storende bobbel of zak in het wegbeeld als gevolg van een verkantingsovergang.
- 4. de **dynamische evenwichtseis**: de toelaatbare zijdelingse wrijving mag nergens worden overschreden. Deze eis levert geen problemen op als in elk punt van de verkantingsovergang wordt voldaan aan de comforteis.
- 5. de **lengte-eis**: de lengte van de clotoïde moet zodanig zijn dat een eventuele verkantingsovergang binnen de clotoïde kan plaatsvinden. Streefminima voor de clotoïdelengte zijn daarom af te leiden uit de lengte van een eventueel bijbehorende verkantingsovergang.

De consequenties van de optische en comforteis zijn in Figuur 3.5 aangegeven.



FIGUUR 3.5: RELATIE A-WAARDE MET BOOGSTRAAL

Bij kleine hoekverdraaiingen tussen twee rechtstanden in de weg is de toepassing van overgangsbogen vaak niet mogelijk, omdat de overgangsboog dan de gehele hoekverdraaiing gebruikt. Dan is het van belang een ruime boog toe te passen.

Omdat de kromming $1/R$ evenredig is met de lengte L (immers, $RL = A^2$), neemt de verdraaiingshoek τ kwadratisch toe met de ontwikkelde lengte vanaf de oorsprong.

$$\tau = \frac{90 L^2}{\pi A^2} = \frac{90 L}{\pi R} \quad (3.4)$$

waarin: τ : hoekverdraaiing [graden];
 L : lengte langs de clotoïde [m];
 R : eindstraal van de clotoïde [m] = straal aansluitende boog.

Voorbeeld

Twee wegen die een hoek van 45° met elkaar maken, moeten worden verbonden met een bocht met een boogstraal $R = 250$ m en overgangsbogen tussen bocht en rechtstanden met een lengte $L = 80$ m. Zonder overgangsbogen zou de lengte van de bocht $45/360 \times 2\pi R = 1/8 \times 2\pi \times 250 = 196$ m bedragen. $\tau_{\text{overgangsboog}} = 90 L / \pi R = 90 \times 80 / (\pi \times 250) = 9^\circ$. Voor de bocht resteert $45 - 2 \times 9 = 27^\circ$. De lengte van de bocht inclusief overgangsbogen bedraagt $27/360 \times 2\pi \times 250 + 2 \times 80 = 278$ m. Door de overgangsbogen is de bocht dus 82 m langer.

Voorbeeld

Een bocht met een boogstraal van 200 m moet een hoekverschil van 18° overbruggen. Stel de clotoïdeparameter $A = 115$, dus $L = 115^2/200 = 66$ m. $\tau = 90 \times 66 / 200\pi = 9,5^\circ$, dus de beide aangrenzende clotoïdes eisen al 1° méér op dan aan hoekverdraaiing beschikbaar is.

De A -waarde kan nog worden verkleind tot 95 m (ondergrens gebaseerd op de comforteis, behorende bij een ontwerpsnelheid van 70 km/h die bij een boog met $R = 200$ m behoort). Uit $A = 95$ volgt $L = 45$ m, dus $\tau = 6,4^\circ$. Voor de boog blijft dan $18 - 2 \times 6,4 = 5,2^\circ$ over; de booglengte is $2\pi \times 200 \times 5,2/360 = 18$ m ≈ 1 rijseconde bij 70 km/h, minder dan de gewenste 3 rijseconden.

De ontwerper staat dan voor de keus de relatief geringe booglengte te accepteren (boog lastiger in te schatten en kans op knik in wegbeeld), of een nog kleinere A -waarde voor de overgangsboog te nemen, wat een overschrijding betekent van de maximaal toelaatbare toename van de zijdelingse versnelling; deze zal dan hoger uitkomen dan $0,8 \text{ m/s}^3$, wat als minder comfortabel kan worden ervaren. Alternatief is dan een ruimere boogstraal toe te passen, maar die moet dan wel ruimtelijk inpasbaar zijn.

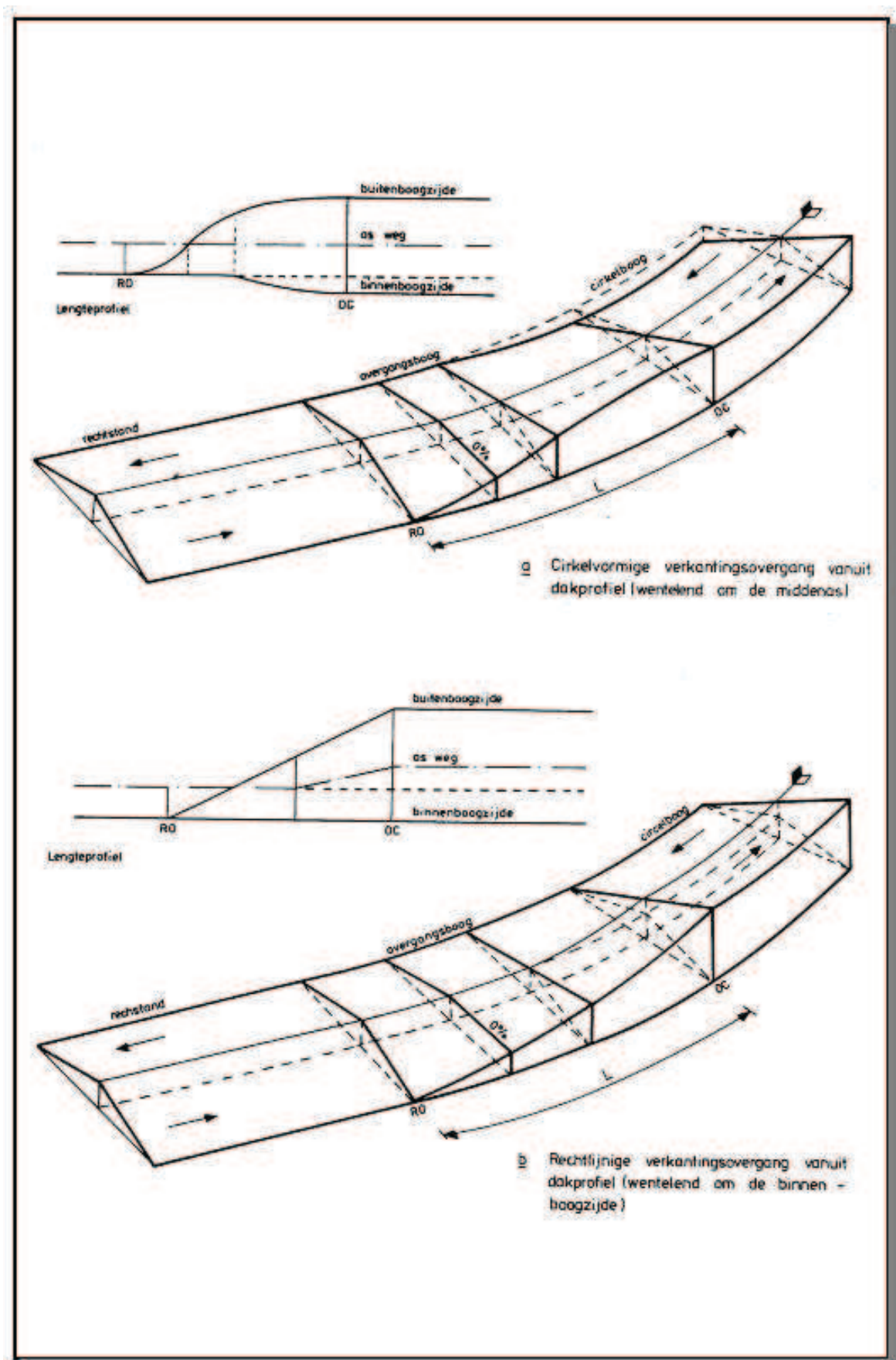
Verkantingsovergang

In de regel is een verandering van de dwarshelling gewenst bij de overgang van:

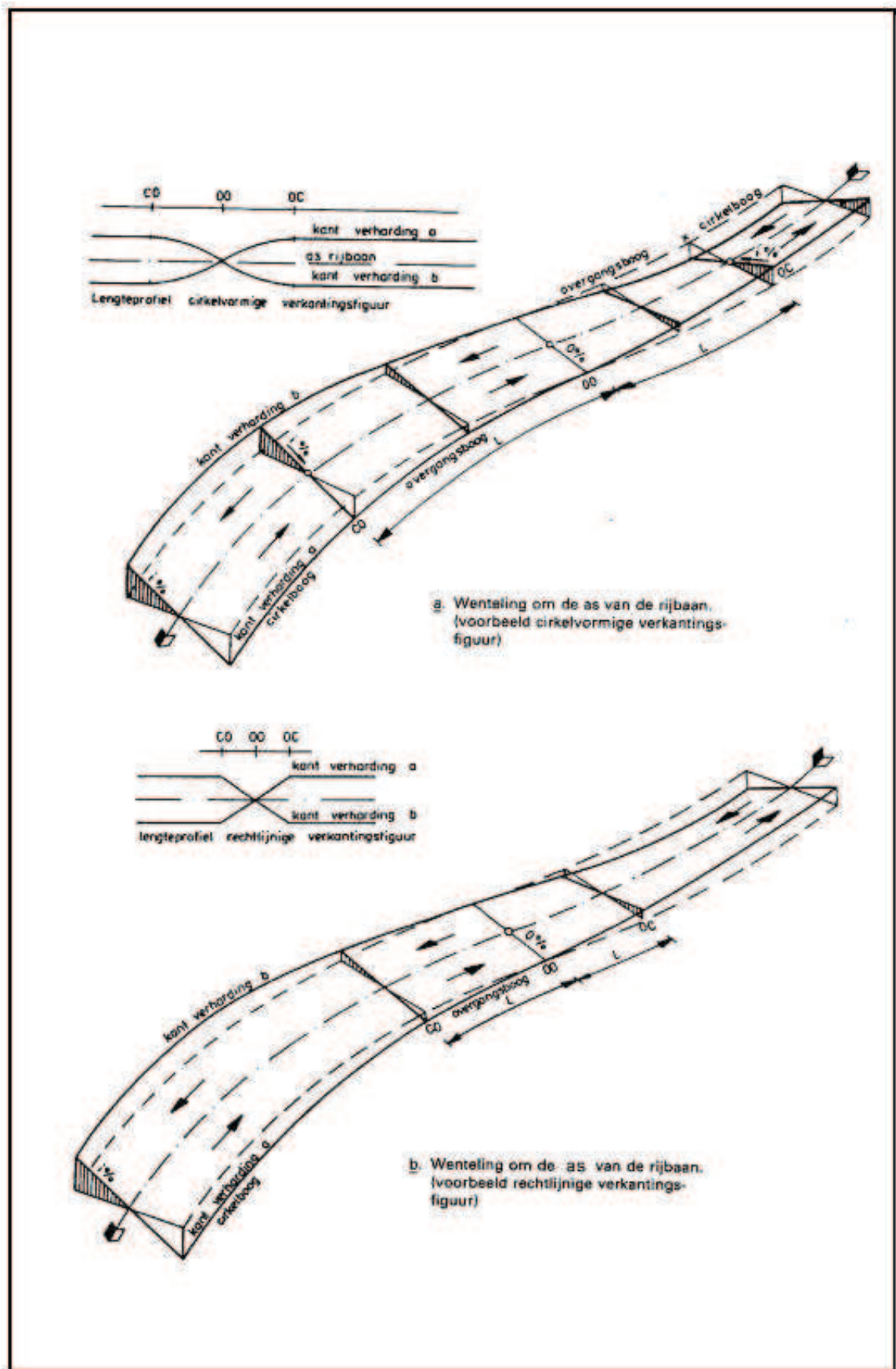
- een rechtstand naar een cirkelboog;
- een cirkelboog naar een opvolgende cirkelboog met een andere straal;
- een cirkelboog naar een opvolgende cirkelboog met een andere richting.

De verandering van dwarshelling vindt in het algemeen plaats in de overgangsboog, die de verbinding vormt tussen de genoemde ontwerpelementen. Indien er geen overgangsboog is, moet de verandering van dwarshelling bij een overgang rechtstand – cirkel plaatsvinden in de rechtstand en bij een overgang cirkel – cirkel in de cirkel met de grootste straal, zodat de bij een bepaalde boogstraal gewenste dwarshelling steeds volledig aanwezig is.

De verandering van de dwarshelling gebeurt door draaiing van het dwarsprofiel van de rijbaan om een lijn in langsrichting en wordt de verkantingsovergang genoemd. Eerst wordt de dwarshelling van de ene rijstrook vergroot tot de dwarshelling van de andere rijstrook en vervolgens wordt de nu ontstane dwarshelling vergroot tot de benodigde verkanting van de boog is bereikt (zie Figuur 3.6).



FIGUUR 3.6: UITVOERINGSVORMEN VAN VERKANTINGSOVERGANGEN [RONA, 1991]



FIGUUR 3.7: WENTELLENDE VERKANTINGSOVERGANG [RONA, 1991]

Bij de overgang van een rechtstand naar een cirkelboog verdient het aanbeveling de wenteling van de verkanting te laten gebeuren door draaiing van het dwarsprofiel om de kantstreep of om de kant van de verharding aan de binnenboogzijde.

Deze methode levert vooral in rechtse bogen optisch gezien een duidelijk beeld op van de cirkelboog, die na de overgangsboog op de rechtstand volgt. Ook in verband met de hoogte van de grondwaterstand, de drainage van het weglichaam en de afwatering van het wegdek is een dergelijke uitvoering gewenst.

Bij de S-vormige overgang tussen twee tegengesteld gerichte bogen wordt de verkanting van de rijbaan gewenteld en geheel van richting veranderd. Deze S-vormige overgang wordt in de horizontale as over het algemeen gevormd door twee clotoïdes. Gezien de vaak beperkte lengte van de twee clotoïdes ten behoeve van het verloop van de verkantingsovergang in de rijbaankanten heeft de wenteling om de middenas van de rijbaan hier de voorkeur. De totale lengte van de twee clotoïdes is dan beschikbaar voor een vloeiende overgang waarbij in het punt waar de twee clotoïdes aan elkaar sluiten de dwarshelling nul is (zie Figuur 3.7).

Voor het verloop van de kant van de rijbaan bij het aanbrengen van de verkanting zijn verschillende vormen mogelijk:

- een cirkelvormig verloop, door middel van twee tegengestelde cirkelbogen. Hierbij is er geen lineair verband tussen de toe- of afname van de kromtestraal van de clotoïde en de toe- of afname van de verkanting. Er zal dus moeten worden gecontroleerd of in elk punt van de verkantingsovergang aan de eis van dynamisch evenwicht voldaan wordt (zie de figuren 3.6a en 3.7a);
- een rechtlijnig verloop. Bij deze methode is er een lineair verloop van de verandering van de dwarshelling. Aangezien in de overgangsboog de toe- of afname van de kromtestraal ook lineair verloopt, is er steeds een rechtlijnig verband tussen de straal in het horizontale alignement en de verkanting in een bepaald punt van de verkantingsovergang (zie de figuren 3.6b en 3.7b).

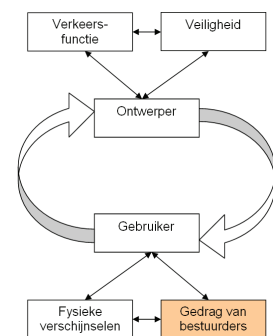
Bij stralen $R_h > 300$ m verdient uit esthetische overwegingen een vloeiend cirkelvormig verloop de voorkeur. Bij een verkantingsovergang moet de verhouding tussen de onder- en de bovenstraal zo worden gekozen dat de beide cirkeldelen aan elkaar aansluiten, ter plaatse waar de dwarshelling nul is.

Bij de vormgeving van het verloop van de kant van de rijbaan ten gevolge van de verkantingsovergang moet rekening worden gehouden met de eisen voor het rijcomfort en met de afwatering van de weg.

3.2.4 Gedrag van bestuurders

Bij lange rechtstanden in een weg gaan bestuurders vaak harder rijden dan op een weg met een bochtig alignement. Er moet naar worden gestreefd om rechtstanden in RONA-categorie VI-wegen en lager niet langer dan circa 500 m te ontwerpen om het rijden met hoge snelheden op dit soort wegen te ontmoedigen.

Bestuurders gedragen zich anders op bochtige wegen dan op rechte wegen. Bochtige wegen zorgen voor een meer afwisselend wegbeeld, waardoor de bestuurders alerter blijven. De zichtafstanden zijn kleiner, waardoor sneller op onverwachte omstandigheden moet worden geanticipeerd. Daarom wordt er op bochtige wegen rustiger gereden dan op rechte weggedeeltes. Voor een rustig rijgedrag is het wenselijk dat de rijtijd in een boog minimaal 3 seconden bedraagt.



De overgangsboog zorgt voor een geleidelijke overgang tussen een rechtstand en een boog of tussen twee boogstralen. Hierdoor hoeft de bestuurder geen abrupte sturbewegingen te maken en kan de boog met een groter comfort worden ingestuurd.

3.3 Horizontaal alignement: algemeen

Bij de bespreking van de hoofdprincipes van het wegontwerp zijn het rijzicht en het stopzicht behandeld. In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan vier andere typen zichtafstanden die een rol spelen bij het ontwerp van het horizontaal alignement: Uitwijkzicht, Inhaalzicht, Boogzicht, en Wegverloopzicht. Bij het wegontwerp zal op basis van alle relevante zichtafstanden (dus ook de zichtafstanden die straks worden besproken bij het verticaal alignement) een afweging moeten worden gemaakt welke zichtafstand maatgevend is.

Omdat deze zichtafstanden niet specifiek voor de rechtstand, de bocht of de overgangsboog gelden, zijn deze opgenomen in deze aparte paragraaf. Vanwege de beperkte hoeveelheid stof is in deze paragraaf geen onderscheid gemaakt in de vier ontwerpaspecten.

3.3.1 Uitwijkzicht

Het uitwijkzicht is het zicht op een obstakel van bescheiden afmetingen dat één rijstrook verspert, zoals een verloren uitlaatdemper. De kans is gering dat een obstakel, dat nergens hoger is dan 50 cm, over de volle breedte een rijbaan blokkeert. Doorgaans zal er daarom ruimte zijn het obstakel na een uitwijkingsmanoeuvre te passeren. Indien de rijbaan zo vol is dat een uitwijkingsmanoeuvre niet direct mogelijk is, is er ook geen zicht op het obstakel. Maatgevend is dan het zicht op remmende voertuigen stroomafwaarts. Kleine objecten zullen bij duisternis pas laat worden opgemerkt. Het hiermee gepaard gaande risico wordt aanvaardbaar geacht.

Uitgangspunten:

- uitwijken met 1 m/s verplaatsing in zijdelingse richting, dus 3,5 s voor rijstrook-wisseling;
- hoge perceptie-reactietijd in verband met onverwachte gebeurtenis, afnemend bij lagere ontwerpsnelheden in verband met hoger attentieniveau;
- voorbereiden van uitwijkmanoeuvre: voor 120, 100 en 80 km/h: 1 s in verband met comfort; niet van toepassing bij 50 km/h.

Snelheid	Tijdsduur				Zichtafstand
V_{ontw} [km/h]	PRT [s]	Voorbereiding uitwijken [s]	Uitwijk- manoeuvre [s]	Totaal [s]	[m]
120	2,5	1,0	3,5	7,0	235
100	2,3	1,0	3,25	6,55	185
80	1,9	1,0	3,10	6,0	135
50	1,5	-	2,75	4,25	60

prt: Perceptie reactietijd

TABEL 3.6: TIJDEN EN ZICHTAFSTANDEN IN VERBAND MET UITWIJKEN VOOR EEN OBSTAKEL OP EEN RIJSTROOK

De maatgevende situatie is hier een obstakel van 0,20 meter hoog.

3.3.2 Inhaalzicht

Onder inhaalzicht wordt de weglengte verstaan die nodig is om veilig te kunnen inhalen. Deze lengte is de optelsom van de lengte die een voertuig nodig heeft om in te halen plus de in die zelfde tijd door een tegenligger afgelegde afstand plus de lengte die nodig is als veiligheidsmarge tussen beide voertuigen aan het einde van de inhaalmanoeuvre.

Onderzoek naar inhaalmanoeuvres van snelverkeer onderling heeft aangetoond dat daarbij niet de eigenschappen van het inhalende voertuig (acceleratievermogen) in de eerste plaats van belang

zijn, maar veeleer de mogelijkheden die de bestuurder van een inhalend voertuig heeft om het voor die manoeuvre benodigde hiaat in de tegenverkeersstroom goed in te schatten.

Op grond van de verdeling van geaccepteerde en geweigerde hiaten in de verkeersstroom is de verdeling van de *kritische hiaattijden* bepaald; de 85-percentielwaarden van deze laatste verdeling kunnen beschouwd worden als veilige waarden voor het in het ontwerp te hanteren inhaalzicht. Gebleken is dat bij inhaalmanoeuvres van snelverkeer onderling deze waarden overeenkomen met volgtijden van voertuigen in de tegenverkeersstroom, die variëren van circa 21 tot 25 s (variatie afhankelijk van de snelheid van het in te halen voertuig).

Daarnaast is het van belang te weten bij welke zichtafstand (dat wil zeggen: bij welke tijdshiaten in de tegenverkeersstroom) het merendeel van de potentiële inhalers niet (meer) inhaalt. Dit blijkt te zijn bij tijdshiaten die kleiner zijn dan circa 16 s.

De hiermee corresponderende waarden voor het inhaalzicht op wegen met een lagere ontwerpsnelheid dan die voor autosnelwegen zijn verzameld in Tabel 3.7.

v_{ontw} [km/h]	wegcAtegorie	Inhaalzicht [m]	Er wordt niet (meer) ingehaald bij zichtafstanden kleiner dan [m]
100	III	700	450
80	IV, V	500	350
50	VII	350	270

TABEL 3.7: ZICHTAFSTANDEN WAARBOVEN VEILIG KAN WORDEN INGEHAALD C.Q. WAARONDER NIET MEER WORDT INGEHAALD

Gezien het feit dat bestuurders bij lengten tussen de waarden in de derde en vierde tabelkolom (het kritische gebied van inhaalzichtafstanden) mogelijk twijfelen over al of niet (kunnen) inhalen, wordt sterk aanbevolen dergelijke tussenliggende waarden in het ontwerp te vermijden.

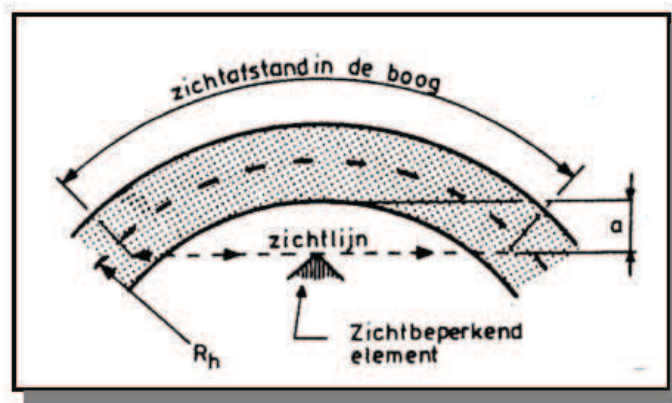
3.3.3 Boogzicht

Om ook in binnenbochten voldoende zichtafstand te bieden, moet de minimale boogstraal worden afgestemd op de afstand van een zichtbeperkend object uit de kantstreep en de benodigde zichtafstand (Figuur 3.8) Ervan uitgaande dat het oog van de bestuurder zich op 2 meter uit de kantstreep van de binnenboog bevindt, kan de straal worden berekend uit:

$$R_h = \frac{z^2}{8(a+2)} \quad (3.7)$$

waarin: R_h : boogstraal [m];
 z : maatgevende zichtafstand [m];
 a : afstand zichtbeperkend object uit kantstreep binnenboog [m].

Omgekeerd kan, bij een al vastgestelde straal, de afstand uit de rijbaan van bijvoorbeeld een aan te brengen geluidsscherp worden bepaald.



FIGUUR 3.8: ZICHT IN BOOG [ROA, 1991]

3.3.4 Wegverloopzicht

Dit zicht is nodig om de dwarspositie van het voertuig te beheersen (laterale regeltaak) en om goed in te spelen op gebeurtenissen in de lengterichting van de weg (longitudinale regeltaak). Voor de laterale regeltaak is weinig zicht in de lengterichting nodig. Vooral het perifere gezichtsveld geeft hiervoor informatie. Voor zichtafstanden is de longitudinale regeltaak maatgevend met daarin als belangrijkste factor de horizontale boog. De benodigde zichtafstand voor het comfortabel de boog ingaan is opgebouwd uit de perceptie-reactie-“afstand” en de herkenningslengte. Met dit laatste begrip wordt bedoeld: dat deel van de boog dat de automobilist moet kunnen waarnemen om de boog te kunnen herkennen en inschatten. (De boog als zodanig wordt herkend op grond van zijn dwarsverplaatsing). Over de som van deze twee afstanden dient de markering te kunnen worden gezien. Tabel 3.8 geeft voor het wegverloopzicht de minimaal benodigde afstanden bij verschillende ontwerpsnelheden.

V_{ontw} [km/h]	Perceptie-reactie		Herkenning		Totaal	
	Tijd [s]	Afstand [m]	Tijd [s]	Afstand [m]	Tijd [s]	Zichtafstand [m]
120	2.0	65	3.0	100	5.0	165
100	1.8	52	3.0	83	4.8	135
80	1.6	38	2.75	68	4.3	105
50	1.0	15	2.0	30	3.0	45

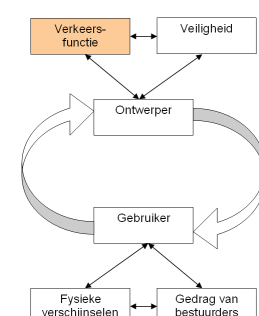
TABEL 3.8 TIJDEN EN ZICHTAFSTANDEN BIJ NADERING VAN EEN BOOG

3.4 Verticaal alignement: langshelling en afrondingsbogen

3.4.1 Verkeersfunctie

Het verticale alignement geeft het verloop van de weg in de hoogteligging weer. Meestal wordt het verticale alignement gekoppeld aan de horizontale as; wanneer ook het terrein in langsricting doorsneden wordt over deze as, wordt een goed beeld verkregen van de relatie tussen de hoogteligging van het terrein en de weg.

Waar mogelijk dienen belangrijke hoogteverschillen in het maaiveld door de weg te worden gevolgd. Zodoende ontstaat een voldoende afwisselend wegbeeld. Door de verticale ingrepen ten opzichte van het maaiveld zo klein



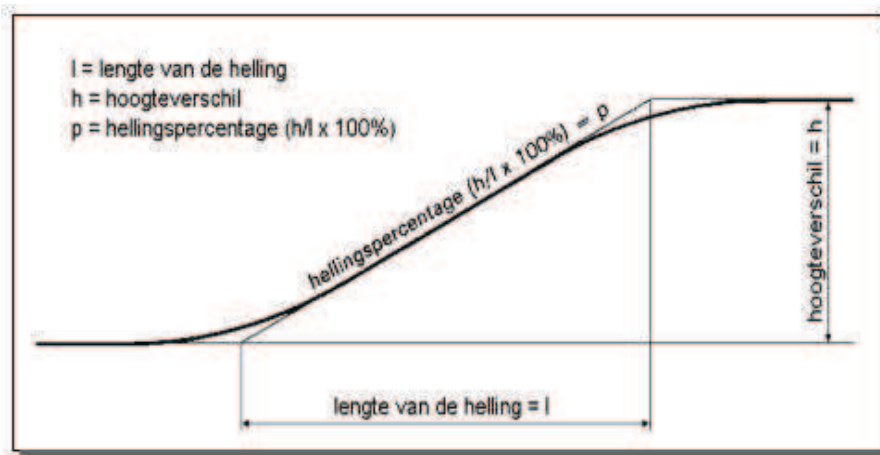
mogelijk te houden, zal ook worden bespaard op het grondverzet. In het grootste deel van Nederland zijn deze hoogteverschillen in het maaiveld echter beperkt. In Nederland zijn bruggen, viaducten en tunnels vaak de meest opvallende elementen in het verticaal alignement.

De wegen op bruggen, viaducten en in tunnels kunnen via een aardenbaan met het maaiveldniveau worden verbonden. Dit is een relatief goedkope oplossing, maar beslaat meer ruimte dan bijvoorbeeld een betonnen constructie. Op plaatsen met een gebrek aan ruimte kan dus (ondanks de veel hogere bouwkosten) toch worden gekozen voor een betonnen kunstwerk. Bij zeer hoge kunstwerken zijn enorme hoeveelheden zand nodig voor een aardenbaan, waardoor een betonnen constructie toch goedkoper kan zijn.

Een ander aspect bij het ontwerpen is rekening houden met de grondwaterstand. Hierbij moet de afstand tussen het laagste punt van de verharding en het grondwater minimaal 0,70 m, maar bij voorkeur 1,00 m bedragen, in verband met een goede ontwatering van de aardebaan en ter voorkoming van vorstschade aan de verharding. Als niet aan deze verticale afstandseis kan worden voldaan, moeten (dure) bakconstructies of kunstmatige polders (permanente bemalingskosten) worden toegepast.

Uit oogpunt van economie is een horizontale ligging te prefereren (geen energieverliezen bij voertuigen, minder schadelijke uitstoot, gelijkmatigere geluidsbelasting). Het hellingpercentage en de hellinglengte, evenals de grootte van de verticale boogstralen dienen aan bepaalde eisen te voldoen. Hierbij spelen de keuze van de ontwerpsnelheid en overwegingen ten aanzien van verkeersafwikkeling en -veiligheid een rol.

De twee bepalende karakteristieken van de langshelling zijn het hellingpercentage en de hellinglengte. Het hellingpercentage wordt ten opzichte van het horizontale vlak weergegeven. Onder de hellinglengte wordt verstaan: de horizontale afstand tussen de snijpunten van de raaklijnen aan de onder- en bovenaf rondingen (zie Figuur 3.9). Het maximaal toelaatbare hellingpercentage wordt in eerste instantie bepaald door de ontwerpsnelheid. De grenswaarden die daaruit voortvloeien zijn vermeld in Tabel 3.9.



FIGUUR 3.9: HELLINGLENGTE EN HELLINGPERCENTAGE

Vontw [km/h]	NOA-hoofd- rijbanen	NOA voor grote kunstwerken	RONA
120	3	5	
100			4*
80	4	6	5*
50		7	

* In heuvelachtig gebied kunnen hogere percentages voorkomen (maximaal 12 %)

TABEL 3.9: MAXIMALE HELLINGPERCENTAGES BIJ VERSCHILLENDE ONTWERPSNELHEDEN

In knooppunten en aansluitingen zijn lage hellingpercentages gewenst. Vlakke of flauw hellende weefvakken leiden tot een homogenere snelheid, waarbij capaciteit en veiligheid zijn gebaat. Invoegingen op stijgende weggedeelten zijn om dezelfde redenen minder gewenst.

Een lange opgaande helling kan een capaciteitsvermindering van de weg tot gevolg hebben. Dit is niet alleen afhankelijk van de hellinglengte en het stijgingspercentage, maar ook van het aandeel vrachtverkeer en het afwikkelingsniveau. Een extra rijstrook aan de linkerzijde (inhaalstrook) kan dan uitkomst bieden. Als de snelheidsreductie van (zware) vrachtauto's méér dan 20 km/h bedraagt, is het uit veiligheidsoverwegingen gewenst een extra rijstrook aan de rechterzijde (kruipstrook) aan te brengen.

Onderzoek heeft aangetoond dat wat betreft de verkeersafwikkeling het toepassen van een inhaalstrook aanzienlijk meer rendement oplevert dan een kruipstrook. De kruipstrook blijkt door een relatief gering aantal vrachtauto's te worden benut. Bovendien kan het min of meer onverwachte invoegen van het vrachtverkeer aan het einde van de kruipstrook tot verkeersonveilige situaties leiden. Om deze redenen verdient de aanleg van een inhaalstrook de voorkeur.

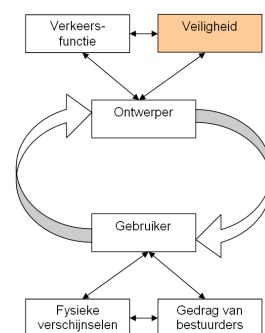
In Nederland komen dit soort hellingen echter niet veel voor. In Zuid-Limburg en op de Veluwe zijn enige hoogteverschillen in het maaiveld, maar de lengtes van de hellingen zijn daar vaak beperkt.

Voor de afronding van verschillen in langshelling wordt de cirkelboog gebruikt. Holle en bolle cirkelbogen (of voet- en topbogen) kunnen direct op elkaar worden aangesloten of verbonden door een rechtstand. Deze rechtstand wordt alleen toegepast bij lange hellingen. Korte hellingen tussen de afrondingsbogen kunnen beter worden vermeden om het wegbeeld voldoende vloeiend te laten verlopen. Een vloeiend wegbeeld en goede zichtlengten vragen vooral in het hogere snelheidsgebied om royale bogen, die dikwijls aanzienlijke gevolgen hebben voor het grondverzet.

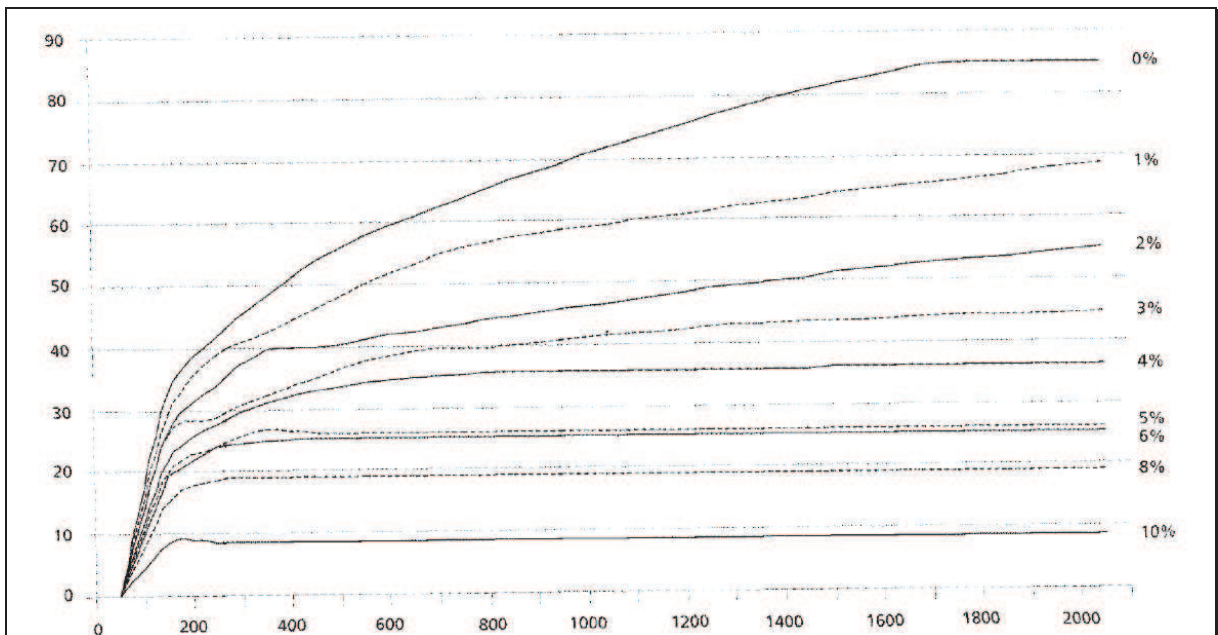
3.4.2 Veiligheid

Bij een helling spelen enkele specifieke veiligheidsaspecten een rol. Een helling verandert namelijk de lengte van de remweg. Bij een neergaande helling is de remweg langer dan bij een opgaande helling. Dit veroorzaakt een verandering in stopzichtafstand als functie van het hellingpercentage en is terug te zien in de formule voor het stopzicht in paragraaf 2.3.2. In de volgende paragraaf is aangegeven hoe de minimale boogstralen voor de afrondingsboog wordt bepaald, zodat aan de minimale zichtafstanden wordt voldaan.

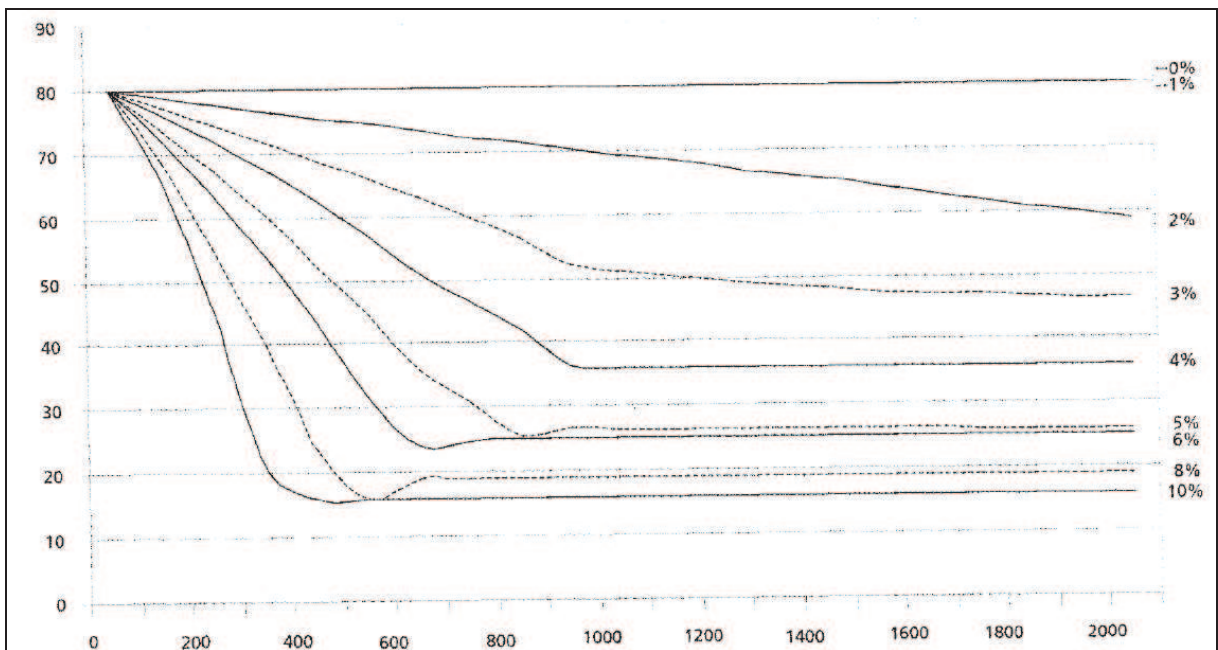
Een ander veiligheidsaspect is de snelheidsterugval van vooral vrachtverkeer op lange hellingen. Bij wat grotere hoogteverschillen (meer dan 10 à 20 m) kan het hellingpercentage afgestemd worden op de hellinglengte. Uit oogpunt van verkeersveiligheid en capaciteit zullen de snelheidsverschillen tussen vracht- en personenauto's niet te groot mogen worden. De snelheidsreductie van vrachtauto's op hellingen in auto(snel)wegen mag de 20 km/h niet overschrijden (30 km/h voor wegen RONA-Categorie V).



De klim- en daalkarakteristieken voor vrachtverkeer zijn weergegeven in de Figuren 3.10 en 3.11. De invloed van aanvangssnelheid en hellingpercentage is duidelijk. Opvallend is de lange afstand die kan worden afgelegd voordat de uiteindelijke constante klimsnelheid is bereikt, uitgaande van een beginsnelheid (v_0) van 80 [km/h].



FIGUUR 3.10: ACCELERATIE VAN VRACHTAUTO'S VAN EEN LAGE VERHOUDING VAN 5,1 KW/TON BIJ VERSCHILLENDE STIJGINGEN [HANDBOEK WEGONTWERP, 2002]



FIGUUR 3.11: AFNAME VAN DE SNELHEID VAN VRACHTAUTO'S VAN EEN LAGE VERHOUDING VAN 5,1 KW/TON BIJ VERSCHILLENDE DALINGEN EN STIJGINGEN [HANDBOEK WEGONTWERP, 2002]

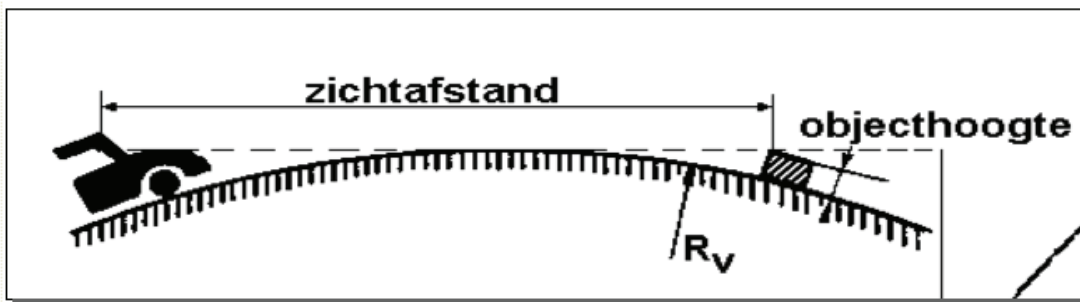
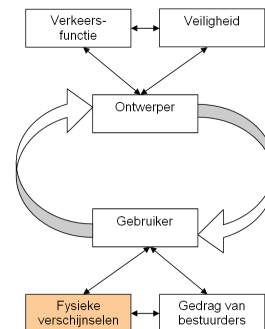
- Voorbeeld 1: (berekening snelheidsterugval bij helling)
helling $p = 4\%$, $l = 600$ m, $V_{begin} = 60$ km/h
 V_{eind} volgt uit de grafiek: ca. 36 km/h
- Voorbeeld 2: (berekening acceleratielengte)
helling $p = 1\%$, $V_{begin} = 0$ km/h, $V_{eind} = 60$ km/h
Afgelegde afstand volgt uit grafiek: ca. 1100 m

3.4.3 Fysieke verschijnselen

Een belangrijk veiligheidsaspect bij bolle bogen is de minimale zichtafstand. Deze zichtafstand wordt bepaald door de boogstraal van de bolle boog. Voor het dimensioneren van bolle bogen in autosnelwegen (of verbindingswegen in knooppunten en toe- en afritten in aansluitingen) moeten drie criteria voor de zichtlengte getoetst worden: het wegverloopzicht, het stopzicht en het uitwijkzicht. Elke zichtsoort is gekoppeld aan de hoogte van een object dat achter de bolle boog ligt, juist boven de "kijkraaklijn" (zie Figuur 3.12).

Er wordt gerekend met een ooghoogte van bestuurders van personenauto's van 1,10 m. De objecthoogten, behorende bij de voornoemde soorten zicht, zijn:

- wegverloopzicht: 0,00 m hoogte van de markering;
- stopzicht: 0,50 m hoogte achterlichten personenauto boven wegdek, zichtbaarheids criterium bij duisternis;
- uitwijkzicht: 0,20 m hoogte "ontwerp-obstakel" dat rijstrook verspert;
- inhaalzicht 1,10 m ooghoogte bestuurder tegemoetkomende auto.



FIGUUR 3.12: ZICHTPRINCIPE BIJ DIMENSIONERING VAN BOLLE BOGEN

Bij wegen met gescheiden rijbanen geldt het inhaalzichtcriterium vanzelfsprekend niet. De minimale boogstraal van de bolle boog wordt bepaald met behulp van de formule:

$$R_{vmin} = \frac{L_z^2}{2(\sqrt{h_o} + \sqrt{h_h})^2} \quad (3.9)$$

waarin

- R_{vmin} : minimale verticale boogstraal [m]
- L_z : zichtafstand [m]
- h_o : ooghoogte van de bestuurder [m]
- h_h : bij zichtafstand behorende objecthoogte [m]

De formule is toepasbaar als de zichtlengte kleiner is dan de booglengte.

Bij elke ontwerpsnelheid worden, door de toetsing aan de van toepassing zijnde zichtlengtecriteria, drie of vier boogstralen gevonden waarvan de grootste de maatgevende minimale straal is. Voor autosnelwegen leidt invulling van de bovenvermelde parameters in de formule tot straalwaarden zoals vermeld in Tabel 3.10. Voor de tussengelegen snelheden geldt hetzelfde berekeningsprincipe. Merk de omslag op tussen uitwijkzicht en wegverloopzicht als maatgevende waarde tussen 50 en 80 km/h.

v_{ontw} [km/h]	120	100	80	50
Wegverloopzicht [m]	12.400	8.300	5.000	900
Stopzicht [m]	11.000	4.700	1.800	600
Uitwijkzicht [m]	12.300	8.100	4.700	1.100

TABEL 3.10: ONDERGRENZEN BOOGSTRALEN VAN BOLLE BOGEN BIJ VERSCHILLENDE ZICHTSITUATIES EN ONTWERPSNELHEDEN

Voor een autoweg (categorie III, $v_{ontw} = 100$ km/h, één rijbaan) resulteert dit in een verticale boogstraal van 56.000 m. Dergelijke grote stralen zijn alleen bruikbaar wanneer dat met het oog op de topografische gesteldheid van pas komt. In andere gevallen zal men niet ontkomen aan een inhaalverbod (kostenbesparing op grondverzet) of aan scheiding van rijrichtingen. Men dient er tevens op bedacht te zijn dat een eventueel aanwezige horizontale boog de rol van zichtbeperkend element al gauw overneemt (obstakels in de berm).

De combinatie van langshelling en dwarshelling levert een ruimtelijke helling op. Deze resultante is te berekenen uit:

$$i_r = \sqrt{i_l^2 + i_d^2} \quad (3.8)$$

waarin: i_r : ruimtelijke helling [%]
 i_l : langshelling [%]
 i_d : dwarshelling [%]

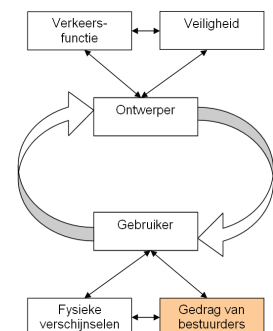
Bij de keuze van het hellingpercentage dient te worden gewaakt tegen overschrijding van de maximale ruimtelijke helling. In het bijzonder bij de combinatie van horizontale bogen met verticale hellingen moet hierop worden gelet. De ruimtelijke helling dient zodanig te zijn dat er geen gevaar ontstaat voor afglijden van een voertuig. Op hoofdrijbanen van auto(snel)wegen is de maximaal toelaatbare ruimtelijke helling 7 %. Op overige rijbanen geldt een maximum van 8 %, omdat daar sprake is van een geringer risico bij afglijden.

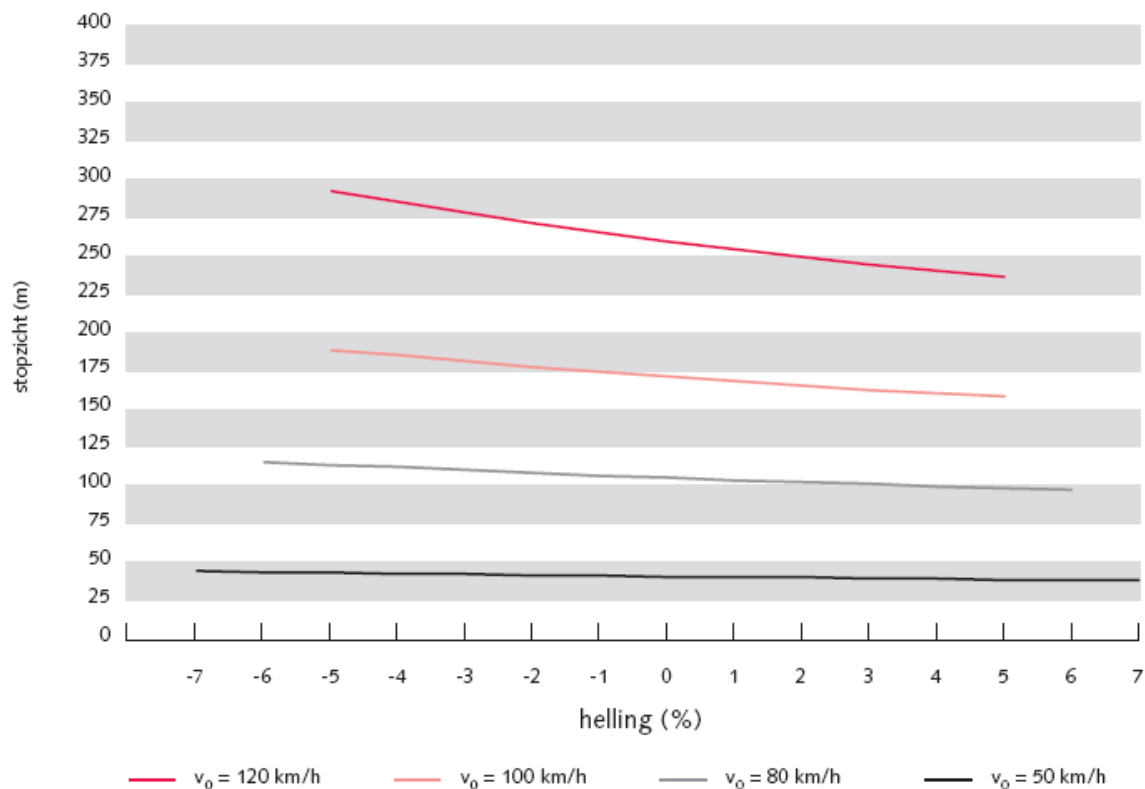
Wegvakken met hellingen steiler dan 1 à 1,5 % geven een goede waterafvoer bij de verkantingsovergangen. Waar mogelijk dienen deze overgangen gecombineerd te worden met aanwezige of te realiseren hellingen. Zones met een relatief slechte waterafvoer worden hierdoor vermeden.

Bij grote hellinglengten dient in principe gekozen te worden tussen een flauwe helling zonder uitbreiding van het aantal rijstroken en een steilere helling waarbij veiligheid en capaciteit voldoende gewaarborgd worden door toevoeging van een extra rijstrook.

3.4.4 Gedrag van bestuurders

Wanneer de rijbaan onder een langshelling ligt, veranderen de zichtafstanden voor het stopzicht. Bij een opgaande helling staat een voertuig namelijk sneller stil en wordt de stopzichtsafstand korter. Bij een neergaande helling is de remweg van een voertuig juist langer en wordt de stopzichtsafstand langer. De stopzichtsafstand als functie van het hellingpercentage volgens de NOA is voor vier verschillende snelheden af te lezen in Figuur 3.13.





FIGUUR 3.13: ZICHT OP STILSTAAND VERKEER BIJ VERSCHILLENDE HELLINGPERCENTAGES [NOA, 2007]

Met betrekking tot het gedrag van bestuurders bij het rijden over verticale afrondingsbogen kunnen wat opmerkingen worden gemaakt over het comfort.

Het vereiste comfort bij het berijden van een bolle boog is niet maatgevend bij het bepalen van de boogstraal. De optredende variaties in versnellingskrachten blijven ook bij krappere bolle bogen ver beneden de grenswaarden die nog comfortabel genoemd kunnen worden.

Bij de dimensionering van holle bogen spelen de zichtlengte-eisen geen rol van betekenis (behalve in diep gelegen kunstwerken zoals tunnels).

De minimaal toe te passen straal van de holle boog volgt uit de comforteis; de verticale versnelling mag niet meer dan 1 m/s^2 bedragen. Uit formule 3.10 volgen minimale holle boogstralen die circa een factor 10 lager liggen dan de vereiste minimale bolle boogstralen bij dezelfde ontwerpsnelheid.

$$R_{vmin} = \frac{(v_{ontw} / 3,6)^2}{a} \quad (3.10)$$

waarin:

- R_{vmin} : minimale boogstraal hol [m]
- v_{ontw} : ontwerpsnelheid [km/h]
- a : acceleratie [m/s^2]

Als deze minimale bolle en holle boogstraal aaneengeschakeld zouden worden, is het visuele resultaat volstrekt onacceptabel. De holle boog (van relatief geringe lengte) wordt perspectivisch sterk verkort, waardoor een knik in het wegbeeld optreedt. Om esthetische redenen is het noodzakelijk de straal van de holle boog twee keer zo groot te kiezen als de straal van de daarop volgende bolle boog. De minimale straalwaarden gebaseerd op comfort zijn alleen in speciale gevallen bruikbaar. Voor de toe te passen waarden zie Tabel 3.11.

v_{ontw} [km/h]	120	100	80	50
Comfort [m]	1.200	850	500	200
Esthetica [m]	24.800	16.600	10.000	2.200

TABEL 3.11: ONDERGRENZEN BOOGSTRALEN VAN HOLLE BOGEN BIJ VERSCHILLENDE ONTWERPSNELHEDEN EN VERSCHILLENDE EISEN

Met het oog op kostenbesparing worden vooral in diepe tunnels veel kleinere holle bogen toegepast. Omdat er door het gebruik van relatief lange hellingen geen directe visuele relatie is met een aangrenzende bolle boog, speelt de esthetica hier een ondergeschikte rol.

3.5 Verticaal alignement: algemeen

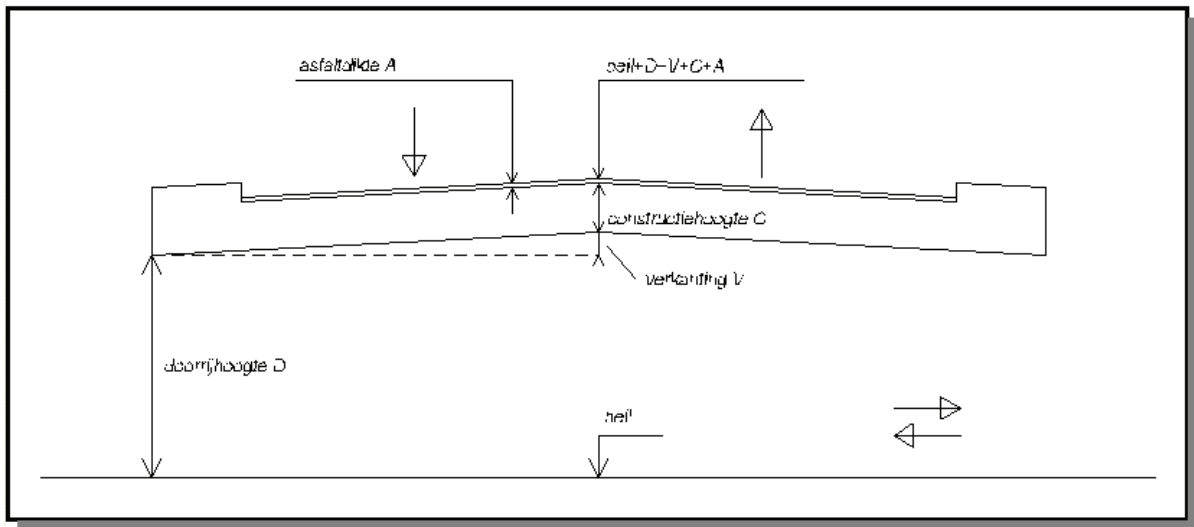
Het verticaal alignement bestaat uit de twee ontwerpelementen van de vorige paragrafen: langshellingen en afrondingsbogen. In het geval van een vlakke weg is de langshelling gelijk aan 0%. In deze paragraaf zijn enkele aandachtspunten weergegeven voor het verticaal alignement. In de eerste subparagraaf wordt ingegaan op enkele belangrijke ontwerpaspecten van het verticaal alignement. In de tweede subparagraaf is stilgestaan bij het wegbeeld dat ontstaat uit de combinatie van het horizontaal en verticaal alignement.

Het verticaal alignement kent geen overgangsbogen. Deze zijn niet nodig, omdat de verticale afrondingsbogen al ruim genoeg zijn voor het rijcomfort en er geen verkanting wordt toegepast (er is dus ook geen verkantingsovergang).

3.5.1 Ontwerp verticaal alignement

Voor een juiste toepassing, aaneenschakeling en berekening van de topboog, voetboog en langshelling spelen de volgende aandachtspunten een rol:

- Onderdruk de neiging om bij een nieuw te ontwerpen wegverbinding over alle bestaande infrastructuur heen te willen gaan. Omdraaiing van niveaus kan in bepaalde gevallen een aanzienlijke besparing op grondverzet (dus kosten) opleveren. Voorbeeld: een nieuwe dubbelbaans-autoweg op maaiveldniveau ontwerpen en bestaande te kruisen wegen van lagere orde één niveau optillen;
- Al te precies de hoogteligging van het maaiveld volgen, resulteert in een groot aantal verticale elementen; dit is ongewenst (zie ook subparagraaf 3.8.2);
- Bij hoogteverschillen tussen 2 en 10 meter, die gebruikelijk zijn bij het ongelijkvloers kruisen van land-, spoor- en waterwegen, zullen top- en voetboog doorgaans rechtstreeks aan elkaar gekoppeld worden. Alleen bij diepe tunnels en hoge rivierbruggen, of gedwongen door topografische omstandigheden, kan een helling tussen de afrondingsbogen noodzakelijk blijken. Bij geringe hoogteverschillen (tot 2 m) ontstaat visueel een bult of kuil in het wegbeeld als de minimum stralen worden toegepast; om dit te verzachten dienen hier óf zeer grote verticale stralen te worden gekozen, óf een zeer flauwe helling (1 promille of minder, met een minimum lengte van 300 m). Voor wegen in de lagere categorieën speelt de esthetica een minder prominente rol;
- De benodigde doorrijhoogte moet voor de lengteprofielberekening op de juiste wijze worden geconverteerd naar het te overbruggen hoogteverschil (zie Figuur 3.14).



FIGUUR 3.14: CONVERSIE DOORRIJHOOGTE NAAR HOOGTEVERSCHIL

- Als vuistregel kan voor de constructiehoogte 1/25 van de overspanning (gemeten in de lengterichting van het kunstwerk) worden aangehouden. Als marge kan daar nog circa 10 cm worden bijgeteld voor de dikte van het asfaltdek. In de praktijk wordt de rekenas van het lengteprofiel in het hart van de deelstreep gelegd, of (bij autosnelwegen) op de kantstreep aan de middenbermszijde.
- Bij lengteprofieltekeningen is het gebruikelijk de verticale schaal veel groter te kiezen dan de horizontale schaal, om het hoogteverloop van zowel maaiveld als ontwerp beter te doen uitkomen. Bijvoorbeeld een horizontale schaal van 1:2000 en een verticale schaal van 1:100, waarmee het lengteprofiel met een factor 20 wordt overdreven. Bij het interpreteren en bewerken van lengteprofieltekeningen dient men zich te realiseren dat de cirkelbogen tot (delen van) ellipsen zijn uitgerekt.

Lengteprofielen kunnen eenvoudig en snel handmatig worden doorgerekend (zie Figuur 3.15) met de paraboolformule (3.11). De helling i (inclination) van de raaklijn op afstand x volgt uit (3.12).

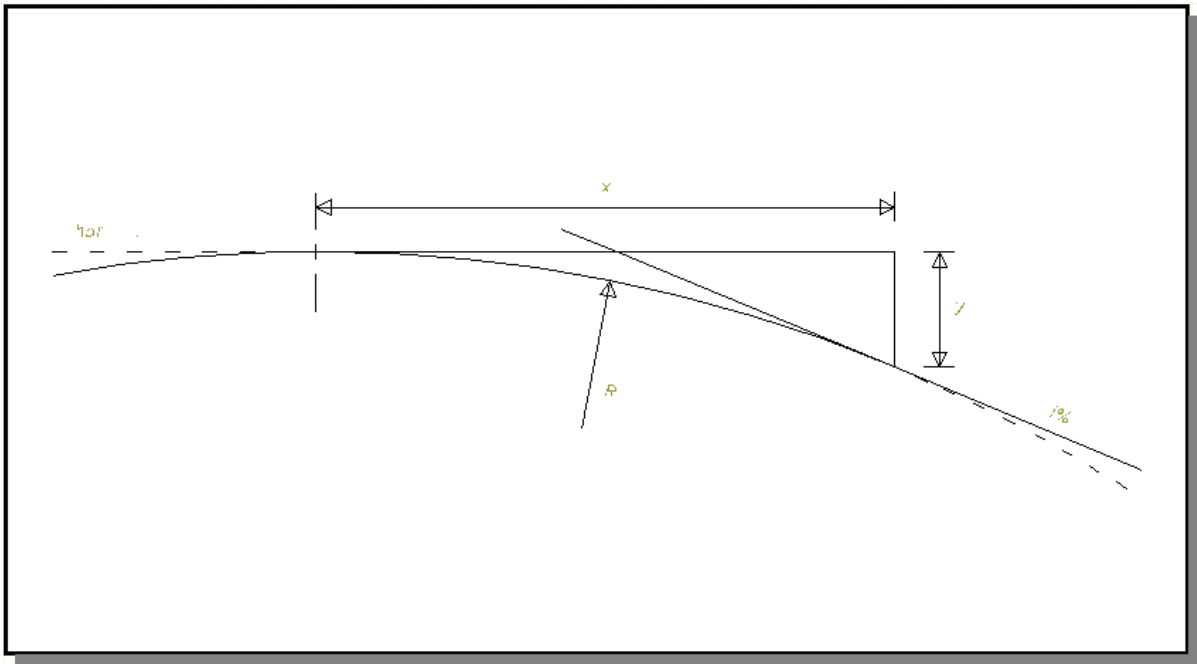
$$y = \frac{x^2}{2R} \quad (3.11)$$

$$i = \frac{x}{0,01R} \quad (3.12)$$

waarin

R	:	verticale boogstraal [m];
x	:	horizontale afstand vanuit hoogste of laagste punt van de boog [m];
y	:	verticale afwijking [m] op afstand x ;
i	:	helling [%] op afstand x .

Omdat bij het wegontwerp slechts een klein gedeelte van de cirkelboog wordt gebruikt (het gedeelte om en nabij de horizontaal), is het verschil in uitkomst tussen parabool- en cirkelformule verwaarloosbaar klein. Zelfs veel computerprogramma's gebruiken de parabool als basis voor de berekening van lengteprofielen.



FIGUUR 3.15: PARAMETERS BIJ TOP- EN VOETBOGEN

In het geval dat:

- de voet- en topboog elkaar raken;
 - de tangentialijnen in de oorsprong van beide bogen parallel lopen;
 - het te overwinnen hoogteverschil bekend is;
 - de stralen van beide bogen bekend zijn,
- mogen de stralen van voet- en topboog bij elkaar worden opgeteld om de benodigde lengte te kunnen berekenen (3.13). De maximum-helling in het buigpunt kan worden gecontroleerd met (3.14).

$$L = \sqrt{2H \cdot \sum R} \quad (3.13)$$

$$i = 200 \cdot \frac{H}{L} \quad (3.14)$$

waarin	L	:	horizontale lengte van voet- en topboog samen [m];
	H	:	totale hoogteverschil [m];
	$\sum R$	:	som van voet- en topboog ($R_1 + R_2$) [m];
	i	:	helling in het buigpunt [%].

In het geval dat de lengte L een vaststaand gegeven is, kan de som van de stralen worden teruggerekend, in de gewenste verhouding opgesplitst en vergeleken met de minimumwaarden in relatie tot de ontwerpsnelheid.

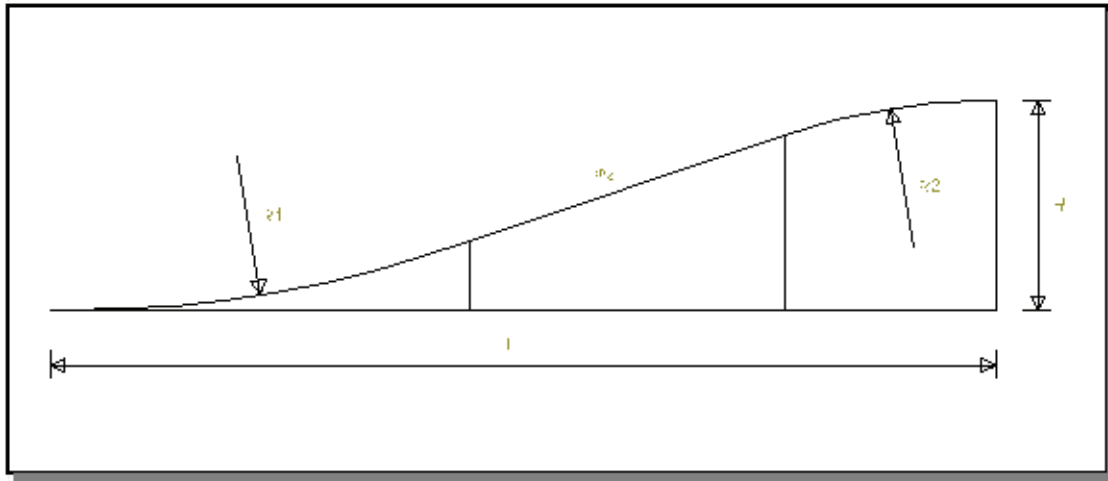
Desgewenst kan de positie van het buigpunt worden gevonden door de afstanden L en H in dezelfde verhouding op te delen als tussen R_1 en R_2 .

Als in de voorgaande situatie de helling in het buigpunt de toegestane norm overschrijdt, zullen voet- en topboog uit elkaar moeten worden geschoven en verbonden met een flauwer gekozen helling (zie Figuur 3.16). De benodigde lengte kan dan berekend worden uit (3.15).

$$L = i \frac{\sum R}{200} + 100 \frac{H}{i} \quad (3.15)$$

waarin: L : horizontale lengte van beide bogen en helling samen [m];
 i : helling [%];
 ΣR : som van voet- en topboog ($R_1 + R_2$) [m];
 H : totale hoogteverschil [m].

De lengtes van de afzonderlijke elementen en de locatie van de tangentialpunten kunnen desgewenst op eenvoudige wijze worden afgeleid uit de basisformules (3.11) en (3.12).



FIGUUR 3.16: PARAMETERS BIJ HELLINGEN EN AFRONDINGSBOGEN

Voorbeeld

Een weg van RONA-categorie V ($v_{\text{ontwerp}} = 80$ km/h) kruist ongelijkvloers een spoorlijn; het hoogteverschil bedraagt 7 meter. De bijbehorende minimum-topboog R_t is 5000 m (Tabel 3.10). De voetboog wordt het dubbele: $R_v = 10.000$ m. De benodigde lengte $L = \sqrt{2H \Sigma R} = \sqrt{2 * 7 * (5000 + 10000)} = 460$ m (opgesplitst: 307 m voor de voetboog, 153 m voor de topboog).

De helling $i = 200 H/L = 200 * 7/460 = 3,04$ %. Dit is ruim binnen de maximum-RONA-norm van 5 % (zie Tabel 3.9).

Zou men desondanks niet steiler willen gaan dan bijvoorbeeld 2 %, dan wordt de lengte:

$L = 2 * 15000/200 + 100 * 7/2 = 500$ m. Uit dit voorbeeld blijkt dat een flauwere maximum-helling relatief weinig extra lengte vergt.

De lengtes van de afzonderlijke elementen bedragen:

$$L_{\text{voetboog}} = 0.01R_i = 100 * 2 = 200 \text{ m}$$

$$L_{\text{topboog}} = 0.01R_i = 50 * 2 = 100 \text{ m}$$

$$L_{\text{helling}} = 500 - 300 = 200 \text{ m}$$

Nu de lengtes van de afrondingsbogen bekend zijn, kunnen met de paraboolformule de hoogtes van de tangentialpunten en eventueel tussenliggende punten worden bepaald.

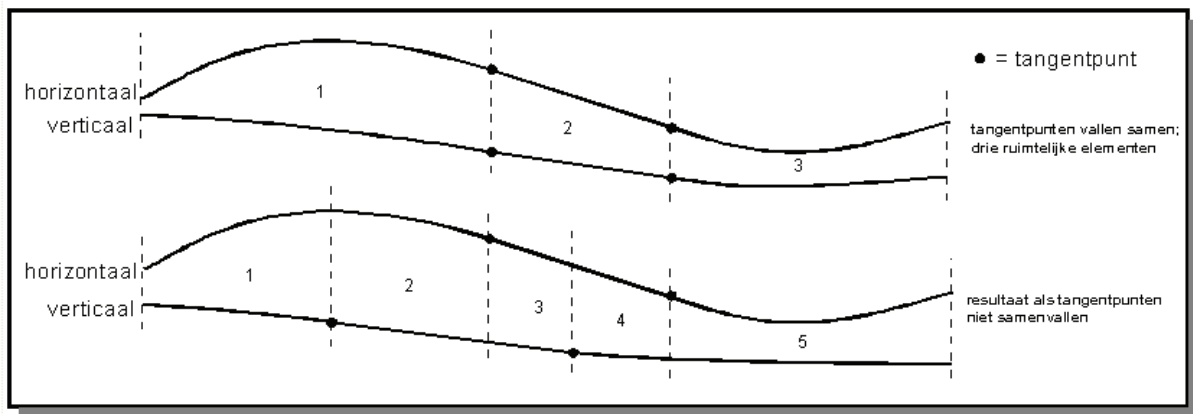
Voorbeeld

In een enkelbaansweg met een ontwerpsnelheid van $v = 100$ km/h moet tussen een opgaande helling van 1,4 % en een neergaande helling van 0,6 % een verticale afrondingsboog worden aangebracht. Er moet ter plekke veilig kunnen worden ingehaald. Uit Tabel 3.7 volgt dat de zichtafstand dan minimaal 700 m bedraagt. Hierbij hoort een topboog met een straal van $R = 700^2 / 2 (\sqrt{1,1} + \sqrt{0,5})^2 \approx 80.000$ m (formule 3.9). De lengte van de verticale boog bedraagt $(1,4 + 0,6) 80.000 / 100 = 1600$ m (formule 3.15). (N.B. De zichtlengte is kleiner dan de booglengte: formule 3.9 is dus toepasbaar en er zitten aan weerszijden van de top van de afrondingsboog twee tangentialen, waardoor gedeeld moet worden door 100.)

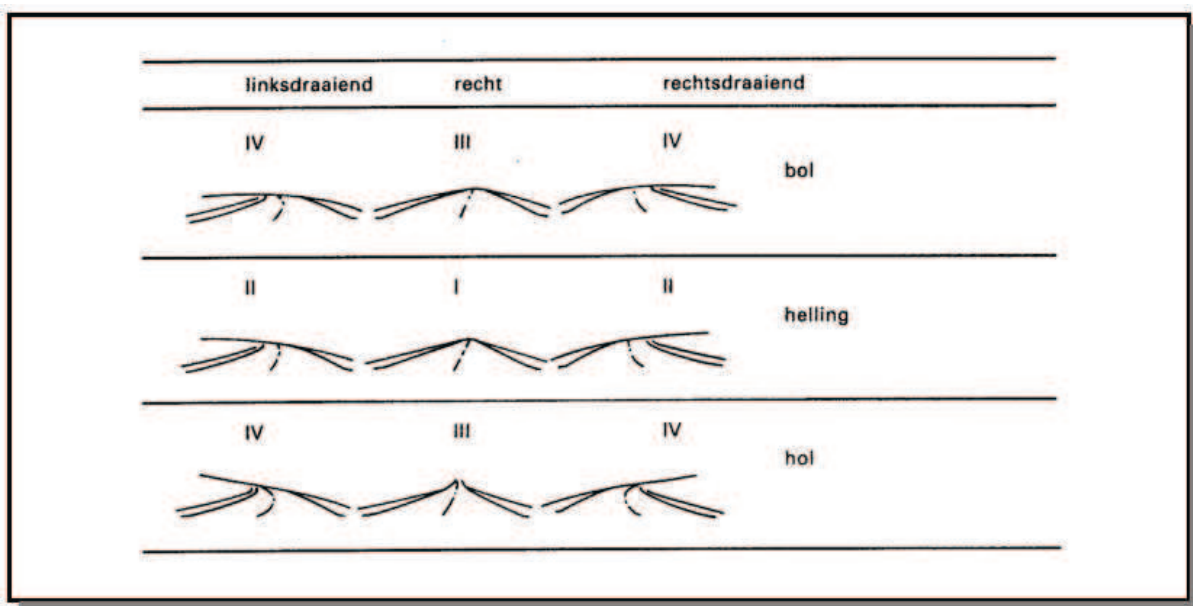
Vanaf de opgaande helling tot de top is de boog $1,4 * 80.000 / 100 = 1120$ m lang en vanaf de top tot de neergaande helling $0,6 * 80.000 / 100 = 480$ m. De overgang van helling van 1,4 % naar topboog bevindt zich op $1120^2 / (2 * 80.000) = 7,84$ m onder de top, de overgang van topboog naar de helling van 0,6 % op $480^2 / (2 * 80.000) = 1,44$ m onder de top (formule 3.11).

3.5.2 Wegbeeld

Om vanuit de geometrie gezien een rustig wegbeeld te verkrijgen, verdient het aanbeveling te streven naar beperking van het aantal ruimtelijke elementen. Een ruimtelijk element is een deel van de ruimtelijke lijn die in het horizontale en in het verticale vlak geen wisseling van krommingsrichting geeft. Dit kan worden bereikt door de tangentialpunten van het horizontale en verticale alignement zoveel mogelijk te laten samenvallen (zie Figuur 3.17). Een afrit zou men bijvoorbeeld kunnen vormgeven door achtereenvolgens een rechtsdraaiende bolle boog, een hellende rechte en een linksdraaiende holle boog toe te passen. De ervaring heeft geleerd dat de aanwezigheid van meer dan drie à vier ruimtelijke elementen, tegelijkertijd zichtbaar in het wegbeeld, een onrustige indruk geeft.



FIGUUR 3.17: RUIMTELIJK ELEMENT



FIGUUR 3.18: GRONDVORMEN VAN DE RUIMTELIJKE ELEMENTEN

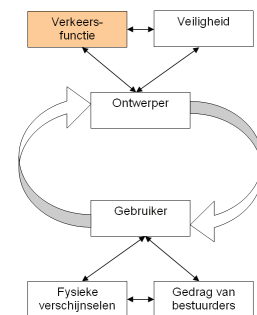
Op grond van het voorgaande zijn de volgende grondvormen van ruimtelijke elementen te onderscheiden (zie Figuur 3.18):

- I de ruimtelijke rechtstand,
- II de vlakke horizontale boog,
- III de verticaal gekromde rechtstand,
- IV de samengestelde boog.

3.6 Knooppunten, kruispunten en rotondes

3.6.1 Verkeersfunctie

Het is onvermijdelijk dat wegen en straten op elkaar aansluiten en elkaar kruisen, zodat men van de ene op de andere weg kan komen. Op de kruispunten zullen de banen van de voertuigen (mits geen fysieke maatregelen zijn getroffen) elkaar in hetzelfde vlak kruisen. Als gevolg daarvan kunnen conflicten optreden, ook al blijft elk van de voertuigen in de door de ontwerper voorbestemde baan of rijstrook.



Indeling naar aspecten

Kruispunten (hier nog als algemene benaming gebruikt, want in vakjargon is de betekenis specifieker) kunnen worden onderscheiden naar een aantal invalshoeken:

- wegcategorie,
- niveau,
- voorrangsregeling,
- vormgeving,

Wegcategorie

- Een ontmoeting tussen twee rijbanen waar het verkeer niet kan of mag afslaan, wordt **kruising** genoemd. Voorbeeld: een fietspad dat een busbaan kruist, maar ook een spoorwegovergang.
- Een ontmoeting tussen twee rijbanen (niet deel uitmakend van een autosnelweg) wordt **kruispunt** genoemd. Voorwaarde is dat het verkeer op het gemeenschappelijke kruisingsvlak moet kunnen afslaan.
- Een ontmoeting tussen een autosnelweg en een niet-autosnelweg waar uitwisseling van voertuigen plaatsvindt, wordt **aansluiting** genoemd. Kenmerkend hierbij is dat de toe- en afritten van de autosnelweg min of meer haaks worden aangesloten op de niet-autosnelweg. De doorgaande hoofdstromen kruisen elkaar op ongelijke niveaus.
- Een ontmoeting tussen twee autosnelwegen wordt **knooppunt** genoemd. Kenmerkend is de vrije verkeersafwikkeling in alle richtingen. De doorgaande hoofdstromen kruisen elkaar op ongelijke niveaus. Alle afslaanende stromen met dezelfde richting beschikken over een eigen rijbaan (verbindingsweg) die zodanig vloeiend is vormgegeven dat de afslagmanoeuvre wordt gereduceerd tot uitvoegen, eventueel snelheid aanpassen en weer invoegen.

Niveau

Twee kruisende verkeersstromen kunnen elkaar gelijkvloers dan wel ongelijkvloers ontmoeten. Het begrip "ongelijkvloers kruispunt" wordt alleen voor twee gewone wegen of straten gebruikt. Voorbeeld: de Maastunneltraverse door Rotterdam. Ook kruisingen kunnen ongelijkvloers zijn, zoals een plattelandsweg die onder een autoweg doorgaat.

Vorrangsregeling

Ten aanzien van de regeling van het verkeer op het kruisingsvlak wordt onderscheid gemaakt tussen:

- ongeregelde kruispunten, met de regel "rechts gaat voor";
- kruispunten met een bijzondere voorrangsregeling door middel van borden;
- geregelde kruispunten door middel van verkeerslichten (zie Deel 4 Hoofdstuk 2).

Vormgeving

Verreweg het grootste deel van de gelijkvloerse kruispunten kan wat betreft de vorm worden ingedeeld in de volgende categorieën:

- volledig of recht kruispunt (vier armen);
- T-aansluiting (aansluithoek varieert tussen 72° en 90°);
- Y-splitsing (hoek van de vork kleiner dan 72°);
- rotonde.

Bij autosnelwegen is de hoofdindeling als volgt:

- volledig knooppunt;
- T-knooppunt;
- volledige aansluiting;
- eenzijdige aansluiting.

Knooppunten kunnen zich in vele gedaanten voordoen; aansluitingen echter hebben een beperkt aantal hoofdvormen.

Knooppunten in autosnelwegen

Knooppunten – kruispunten tussen autosnelwegen onderling – worden gekenmerkt door een vrije verkeersafwikkeling in alle richtingen. De eis dat de afslaande richtingen met relatief hoge snelheid bereden moeten kunnen worden (50-100 km/h), resulteert in een ruimtebeslag dat een veelvoud van dat van aansluitingen bedraagt (zie hierna).

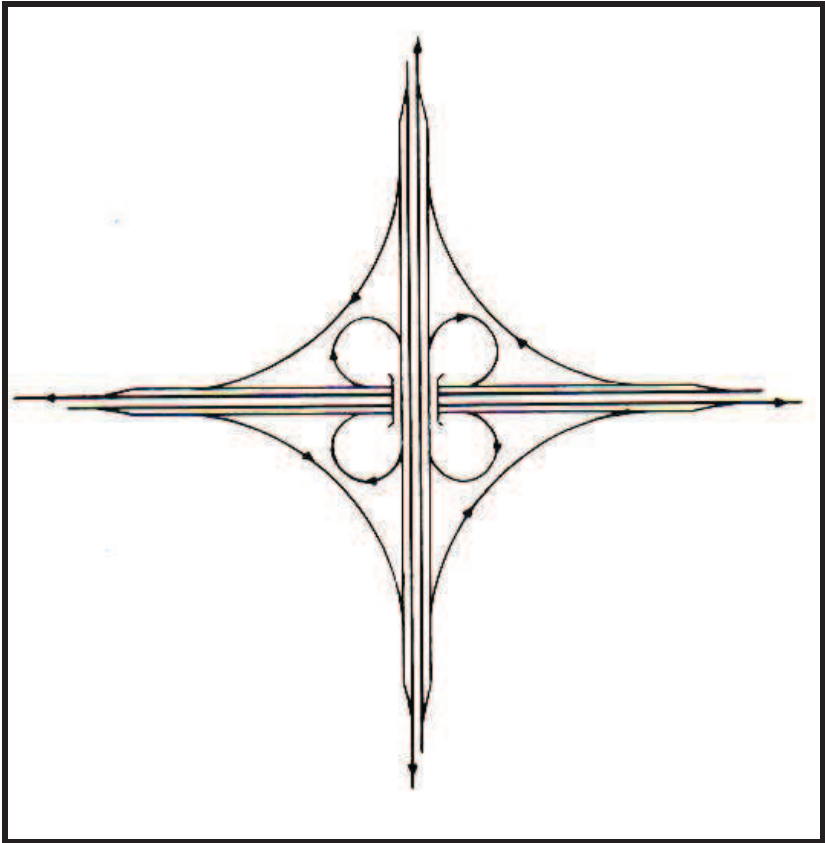
De eenvoudigste vorm van een volledig knooppunt is het klaverblad (zie Figuur 3.19). Ondanks zijn grote oppervlakte (circa 35 ha) is dit een relatief goedkope oplossing omdat er maar één centraal kunstwerk in voor komt. De grens voor de toepassingsmogelijkheid wordt meestal bepaald door de capaciteit van de weefvakken tussen de lussen (circa 1500 pae/h). Kenmerkend is dat een aparte rangeerbaan wordt gebruikt waarop het verkeer van de klaverbladen kan in- en uitvoegen op relatief korte weefvakken en dus het verkeer op de hoofdrijbaan hierdoor niet wordt verstoord.

In Figuur 3.19 zijn verder het ster-, turbine- en trompetknooppunt weergegeven. De voor- en nadelen zijn in Tabel 3.12 op een rij gezet.

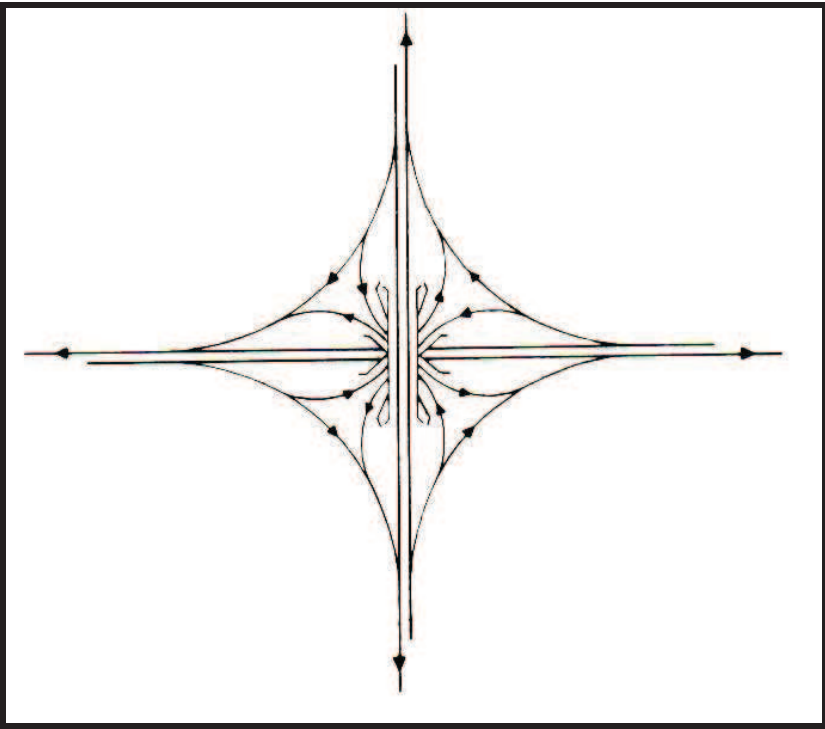
Knooppunts-vorm	Voordelen	Nadelen
Klaverblad	- eenvoudige vorm - één kunstwerk - geen problematische ombouw - goedkoop	- rangeerbanen noodzakelijk - beperkte capaciteit weefvakken tussen lussen - ongunstige bewegwijzering lussen
Turbine	- geen weefvakken - ruime bogen - betere afwikkeling linksaffers	- rangeerbanen voor invoegers - vijf kunstwerken (vier met forse afmetingen) - krappe lengteprofielen tussen kunstwerken - complexe geometrie
Ster	- geen rangeerbanen en weefvakken - directe verbindingen in alle richtingen - ruime bogen - uitstekende afwikkeling	- stapeling van kunstwerken in drie niveaus - zeer grote hoogteverschillen - aanzienlijk grondverzet - duur

TABEL 3.12: KARAKTERISTIEKEN VAN VIERARMIGE KNOOPPUNTvormen IN AUTOSNELWEGEN

Bij de knooppuntvormen zijn talloze variaties en combinaties mogelijk. Zo is het knooppunt Ouden-rijn bij Utrecht een combinatie van het (voormalige) klaverblad en de turbine; twee diagonaal tegenover elkaar gelegen lussen zijn vervangen door twee ruime linksdraaiende bogen om de overgebleven lussen heen. Behalve de klaverturbine zijn ook oplossingen denkbaar als de klaverster.

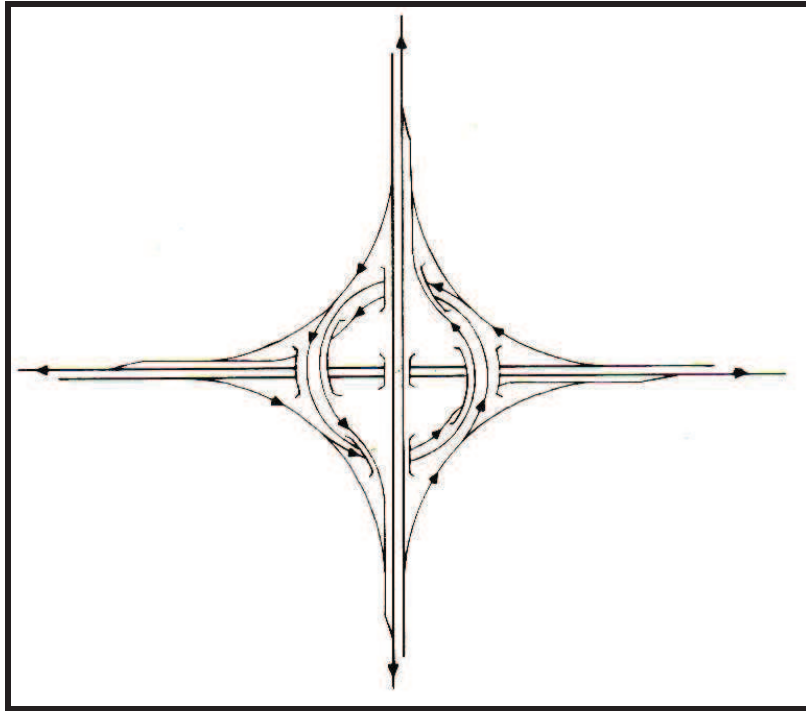


KLAVERBLAD-KNOOPPUNT

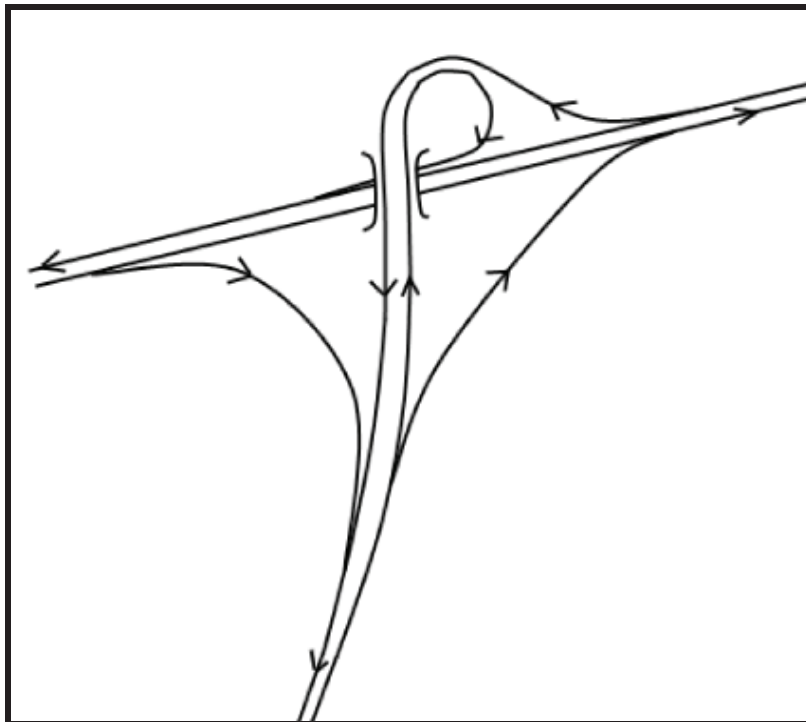


STER-KNOOPPUNT

FIGUUR 3.19: KNOOPPUNTVORMEN



TURBINE-KNOOPPUNT



TROMPET-KNOOPPUNT

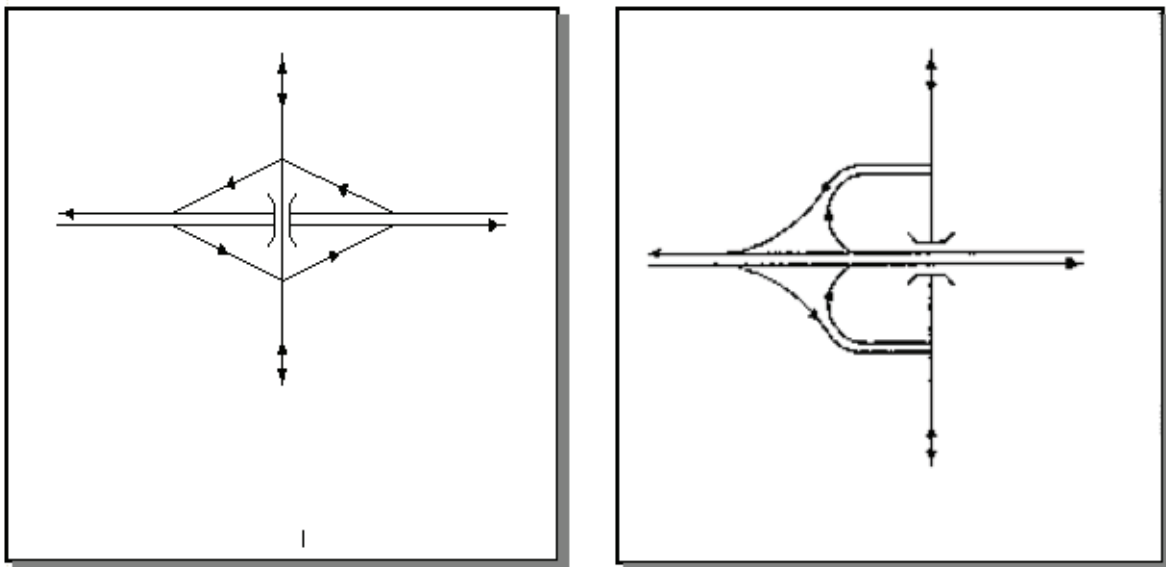
FIGUUR 3.19 (VERVOLG): KNOOPPUNTVORMEN

De rotonde komt in het autosnelwegennet alleen nog voor in oude situaties. In verband met de beperkte capaciteit en het niet aansluiten bij het verwachtingspatroon van de weggebruiker (snelheidsbeperking, gelijkvloers kruisende verkeersstromen) worden deze op den duur vervangen door de hiervoor genoemde vormen.

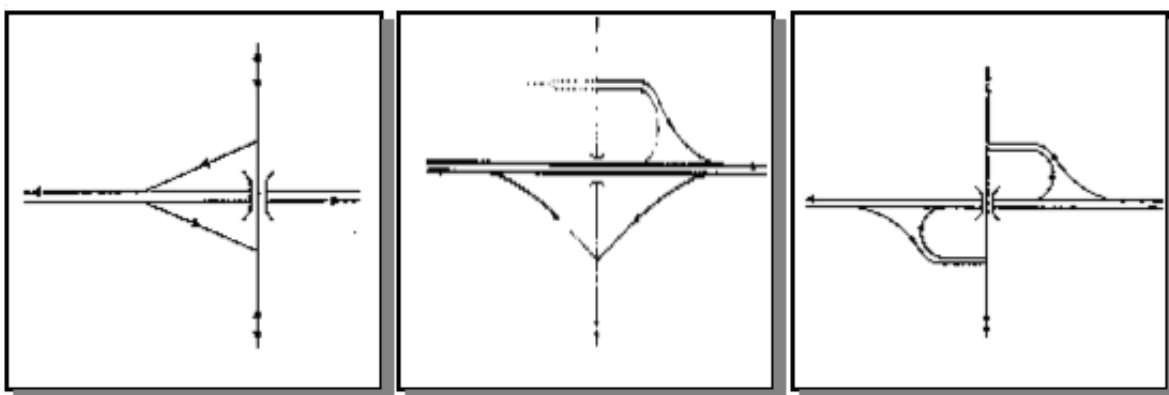
Aansluitingen in autosnelwegen

Aansluitingen van wegen van een lagere categorie aan autosnelwegen zijn onder te brengen in twee basistypen: de Haarlemmermeer-aansluiting en de halfklaverblad-aansluiting (zie Figuur 3.20). Via de toerit rijdt men kruisingsvrij de autosnelweg op en via de afrit er weer vanaf. Op de weg van lagere categorie zijn er kruispunten of rotondes ter plaatse van toe- en afrit.

De Haarlemmermeer-aansluiting is een eenvoudige en overzichtelijke kruispunt-oplossing, waarbij de situering van de toe- en afritten overeenkomt met het richtinggevoel van de weggebruiker. Alleen in zeer speciale gevallen kan worden overwogen een eenzijdige aansluiting toe te passen (zie Figuur 3.21) als er voor de ontbrekende takken logische alternatieve verbindingen zijn binnen de bestaande infrastructuur. In het algemeen moet echter worden gestreefd naar oplossingen die in alle richtingen compleet zijn.



FIGUUR 3.20: HAARLEMMERMEER-AANSLUITING (LINKS) EN HALFKLAVERBLAD-AANSLUITING (RECHTS)



FIGUUR 3.21: MOGELIJKE VARIANTEN BIJ AANSLUITINGEN:
EENZIJDIGE AANSLUITING (LINKS), COMBINATIE (MIDDEN), ASYMMETRISCH (RECHTS)

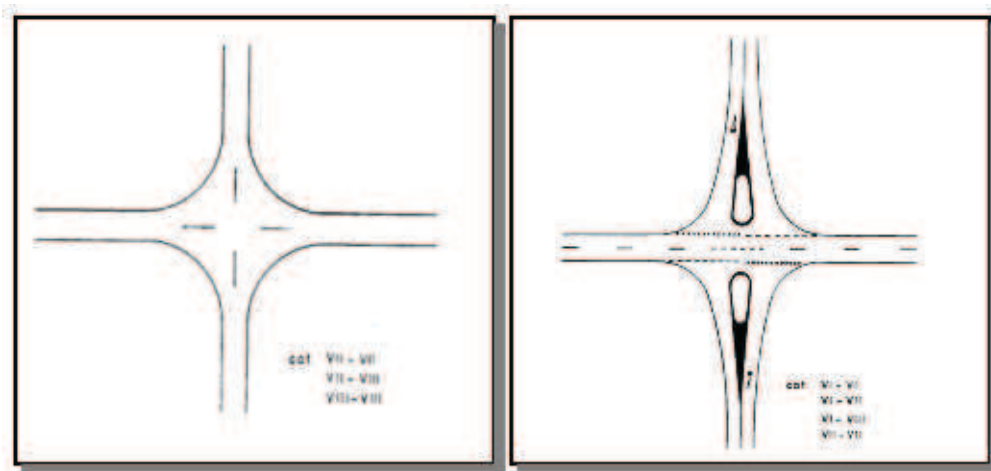
De halfklaverblad-aansluiting kan worden toegepast wanneer er sprake is van een belemmering langs één kant van de secundaire weg (kanaal, spoorlijn, parallelweg, bebouwing). Nadeel van deze oplossing is dat één van de lussen in een afrit ligt, wat een grote snelheidsaanpassing vereist. Een asymmetrisch halfklaverblad zoals geschetst in Figuur 3.21 heeft dit bezwaar niet (daar bevinden alleen de opritten zich in een lus). Een minder gunstige eigenschap van halfklaverblad-aansluitingen is de verhoogde kans op spookrijders omdat de toe- en afrit naast elkaar liggen.

Qua ruimtebeslag ontlopen de Haarlemmermeer en het halfklaverblad elkaar niet veel (circa 5 ha).

Kruispunten in niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom

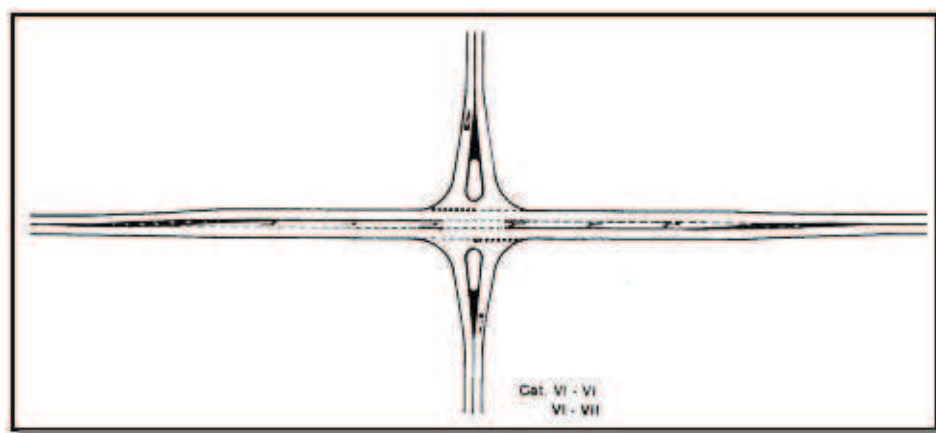
Waar wegen van de laagste categorie (plattelandswegen, categorie VII en VIII) elkaar ontmoeten, kan met een eenvoudige vormgeving worden volstaan (zie linkerplaatje in Figuur 3.22). De "intensiteiten" zijn dermate laag dat enige vorm van voorrangregeling niet nodig is.

Als een van de kruisende wegen een stroomfunctie heeft (d.w.z. vanaf 100 pae/h in beide richtingen samen), wordt onderscheid gemaakt tussen hoofdweg en zijweg; de voorrang wordt dan met borden geregeld. Ter verbetering van de zichtbaarheid krijgen de zijwegen verkeersdruppels (eivormige verkeersheuvels in het wegdek) (zie rechterplaatje in Figuur 3.22).



FIGUUR 3.22: KRUISPUNT TYPE 1 (LINKS) EN TYPE 2 (RECHTS)

Wanneer de intensiteit op de hoofdweg verder toeneemt (tot circa 500 pae/h in beide richtingen samen), is het noodzakelijk om linksafvakken aan te brengen voor het van vanaf de hoofdweg links afslaanende verkeer (zie Figuur 3.23). De functie daarvan is tweeledig: afremmen buiten het doorgaande verkeer en het bieden van een opstelkans tijdens het wachten op een geschikte hiaat in de tegenstroom.

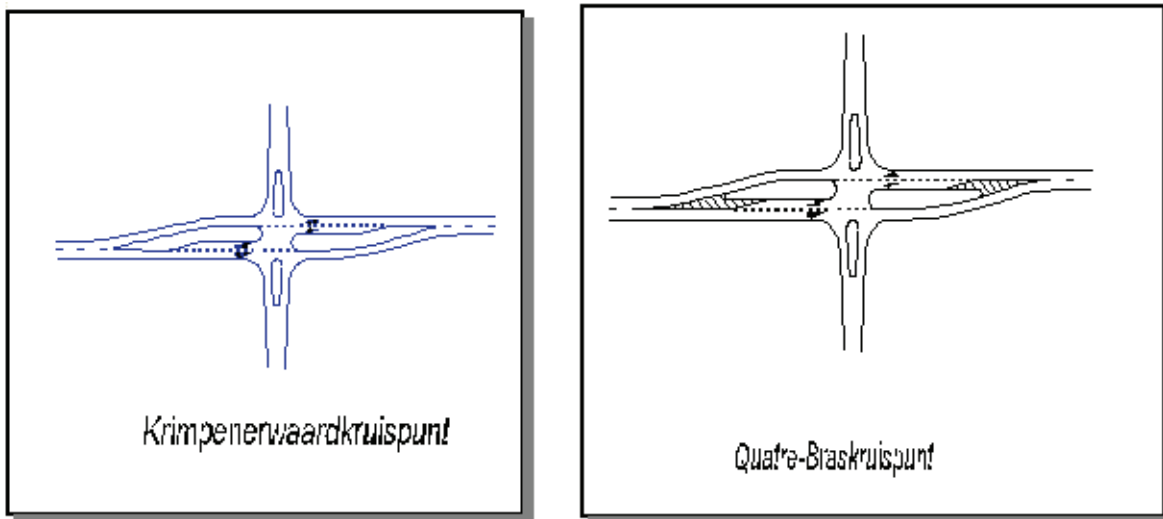


FIGUUR 3.23: KRUISPUNT TYPE 3

Naarmate de intensiteit op de hoofdweg groter wordt en de snelheden hoger (categorie III, IV en V), wordt het voor verkeer uit de zijweg moeilijker de hoofdweg over te steken dan wel op te rijden (linksaffers). Een baansplitsing maakt oversteken in twee etappes mogelijk (zie Figuur 3.24).

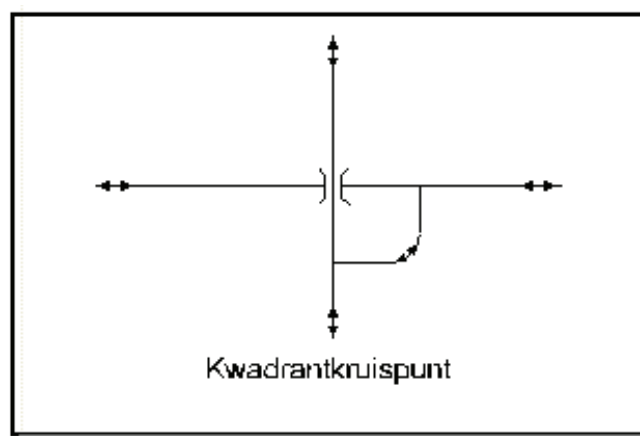
Het Krimpenervwaard-kruispunt kenmerkt zich door een brede baansplitsing (opstel mogelijkheid voor lange gelede voertuigen) en fysieke rugdekking voor vanaf de hoofdweg afslaand verkeer door middel van verhoogde opsluitbanden.

Het Quatre-Bras-kruispunt heeft een smalle baansplitsing (om overstekende (brom)-fietsers ruimte te bieden) en biedt afslaand verkeer een quasi-rugdekking in de vorm van afstreepmarkering op het wegdek.



FIGUUR 3.24: KRUISPUNT TYPE 4

In het geval dat beide kruisende wegen een belangrijke verkeersfunctie hebben (categorie III, IV en V), kan het op grond van capaciteit nodig zijn het kruispunt ongelijkvloers uit te voeren. Beide wegen worden op elkaar aangesloten door een aparte verbindingsweg, waarlangs de verkeersuitwisseling plaatsvindt. Dit Kwadrantkruispunt is in feite samengesteld uit een ongelijkvloerse kruising voor het doorgaande verkeer en twee T-kruispunten (zie Figuur 3.25).



FIGUUR 3.25: KRUISPUNT TYPE 5

Kruispunten binnen de bebouwde kom

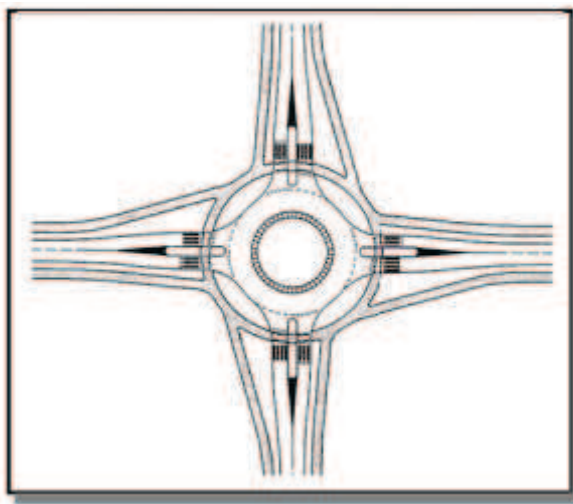
Binnen de bebouwde kom hebben verreweg de meeste kruispunten de vorm van een T-kruispunt (81 %); het aandeel vierarmige kruispunten is 17 % [ASVV 2004]. Er is geen algemene voorkeur voor een van deze twee typen. Wel bestaat er een aanwijzing dat de gemiddelde ernst van de ongevallen op T-kruispunten geringer is. In verband met het uitzicht verdient het aanbeveling de

takken van een kruispunt haaks op elkaar aan te sluiten. Rotondes komen in Nederland steeds vaker als kruispuntoplossing voor (zie hierna).

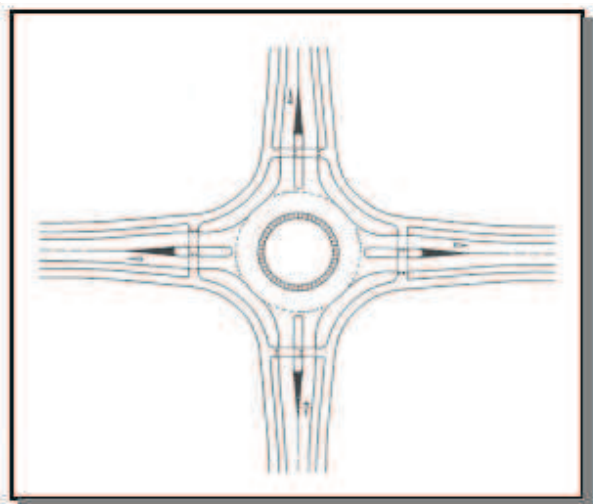
Wanneer de capaciteit van deze kruispuntvormen tekortschiet, dan komt het ongelijkvloers voeren van een of meer verkeersstromen over het kruisingsvlak heen of eronderdoor in aanmerking. In verband met het relatief geringe ruimtebeslag wordt dan meestal de Haarlemmermeer-oplossing toegepast.

Rotondes

De populariteit van de rotonde is vooral gelegen in de sterke reductie van de (ernstige) verkeersongevallen als gevolg van de afgedwongen snelheidsverlaging (zie volgende subparagraaf) en de relatief hoge capaciteit ten opzichte van traditionele kruispunten (al of niet voorzien van verkeersregelinstallaties).



FIGUUR 3.26: ROTONDE MET VRIJLIGGENDE FIETSPAD
MET VOORRANG VOOR DE FIETS



FIGUUR 3.27: ROTONDE MET VRIJLIGGENDE FIETSPAD
MET VOORRANG VOOR DE AUTO

De meest toegepaste vorm is de enkelstrooksrotonde waarbij de toe- en afritten en de rijbaan uit één rijstrook bestaan. Rotondes met voorrang voor de fiets (Figuur 3.26) verhogen het comfort voor de fietsers, omdat zij maximaal één keer moeten stoppen en nauwelijks hoeven te wachten. Op rotondes zonder voorrang voor fietsers (Figuur 3.27) is de oversteekbaarheid voornamelijk afhankelijk van de hiaten in de stroom oprijdende en afslaande voertuigen, alsmede de snelheid van het afslaande verkeer en de aanwezigheid van een middengeleider.

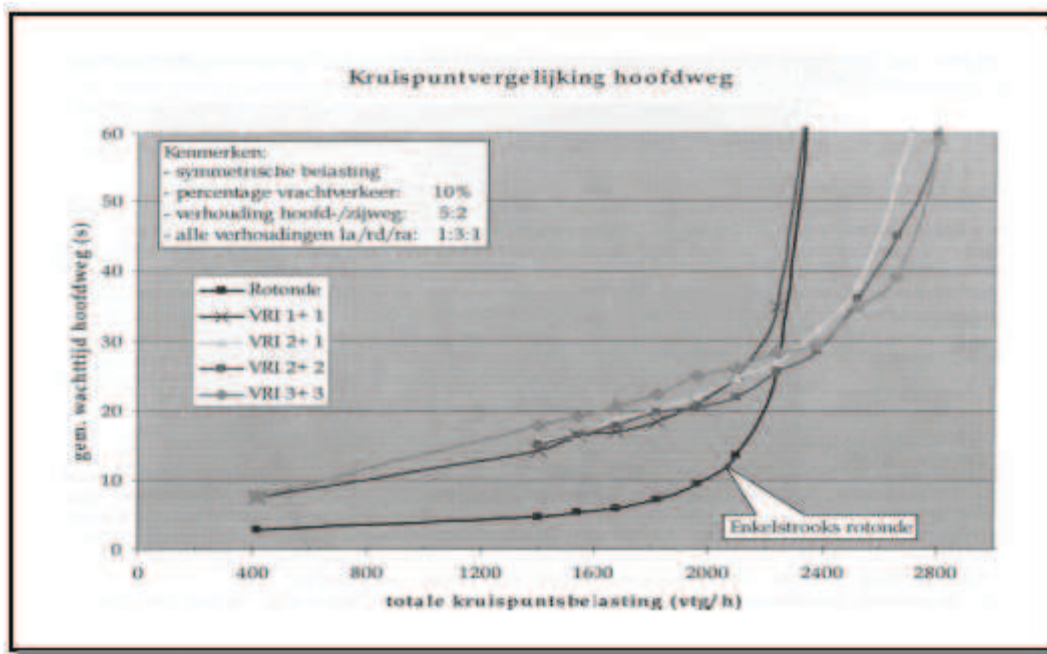
Het verkeer op de rotonde geniet in de meeste landen voorrang, zodat opstoppen op de rotonde worden voorkomen. Echter, het fietsverkeer heeft vaak (nog) geen voorrang bij de oversteekplaatsen op de toe- en afritten boven het gemotoriseerde verkeer. Onderzoek van de SWOV [van Minnen, 1995] en in opdracht van het CROW heeft geleid tot de aanbeveling:

- binnen de bebouwde kom fietsers in de voorrang, voetgangers bij voorkeur vrije doorgang;
- buiten de bebouwde kom fietsers uit de voorrang en voetgangers geen vrije doorgang.

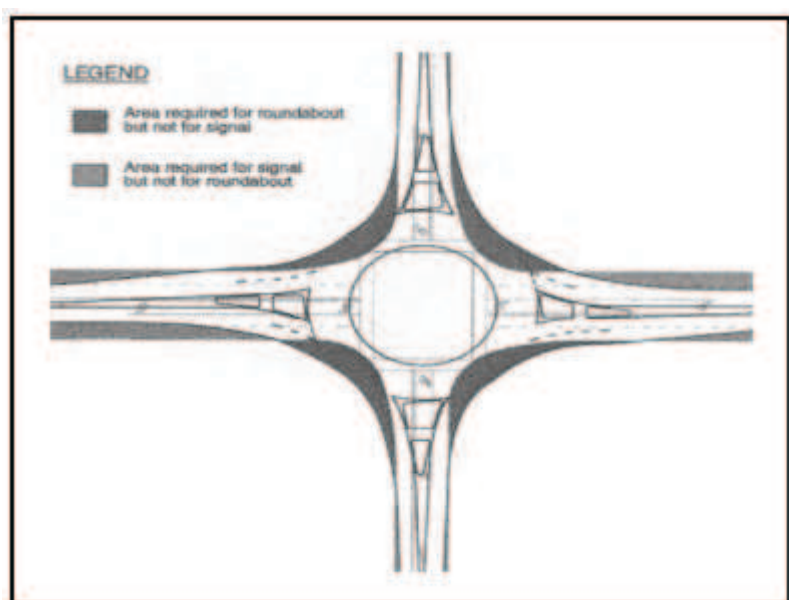
Vanwege de scherpe hoek tussen fietspad en afrit is het fietsgedrag door de autobestuurder moeilijk in te schatten is en de voorrang voor de fiets zou een verhoging van de ongevalkans betekenen. De fietsersbond enfb is het daar niet mee eens en een aantal gemeenten past de voorrang voor de fiets door middel van bebording wel toe. Een fietsstrook op de rotonde zelf is niet aan te raden omdat het risico van snijongevallen bij de afritten zeer hoog is.

Uit microsimulatie blijkt dat de gemiddelde wachttijd op de hoofdweg van een rotonde in geval van een totale verkeersintensiteit op het kruispunt van minder dan 2200 vtg/h duidelijk minder te zijn dan van verschillende soorten met verkeerslichten geregelde kruispunten (Figuur 3.28). T.a.v. de verkeersveiligheid is het aantal slachtofferongevallen op 48 rotondes die sinds 1989 door de

provincie Zuid-Holland werden aangelegd (fietsers uit de voorrang) gemiddeld met 81 % per jaar afgenomen. Het ruimtebeslag van de enkelstrooksrotonde is echter groter dan bij een door verkeerslichten geregeld kruispunt met twee opstelstroken (Figuur 3.29).



FIGUUR 3.28: VERLIESTIJDEN VOOR DE HOOFDSTROOM OP VRI-KRUISPUNTEN EN ENKELSTROOKSROTONDE (DE LEEUW, 2001)



FIGUUR 3.29: RUIMTEBESLAG VAN VRI-KRUISPUNT EN ENKELSTROOKSROTONDE

Voor dichtbebouwde gebieden met smal wegprofiel is de minirotonde ontwikkeld, die alleen maar bestaat uit een overrijdbaar middeneiland met een diameter van minimaal 4 m, een buitendiameter tussen de 13 en 25 m en zo mogelijk rechthoekige takken (Figuur 3.30). Voor auto's is een rijstrookbreedte van 4,50 m voldoende, terwijl vrachtwagen en bussen over het middeneiland moeten rijden. Daarom is de maximale hoogte van het overrijdbare deel beperkt tot 12 cm. De minirotonde is sinds 1996 met veel succes toegepast in een aantal steden in Nordrhein-Westfalen in Duitsland.



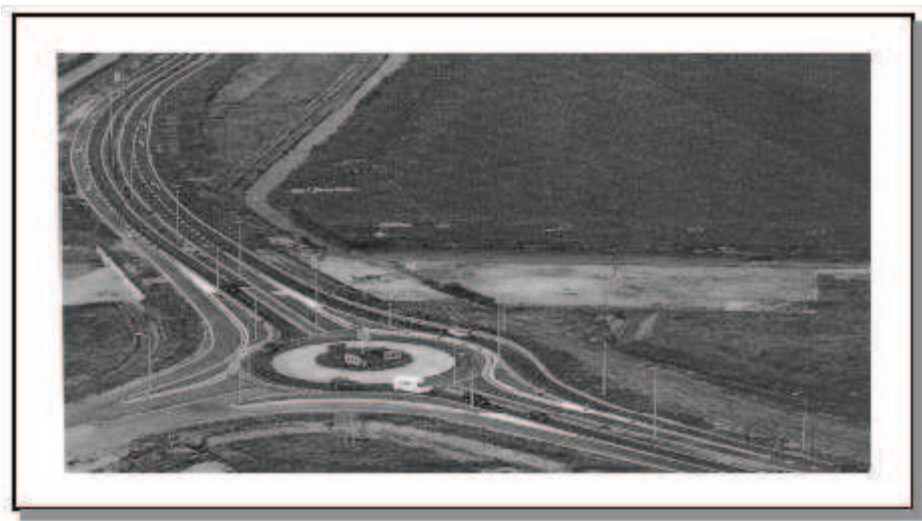
FIGUUR 3.30: MINI-ROTONDES MET OVERRIJDBAAR MIDDENEILAND

Naast enkelstrooksrotondes is nog een beperkt aantal meerstrooksrotondes in gebruik, meestal op plaatsen waar de capaciteit van enkelstrooksrotondes onvoldoende is. Meerstrooksrotondes kunnen in de volgende groepen worden ingedeeld:

- meerstrooksrotondes met concentrische belijning
- passeerbaanrotondes
- turborotondes
- door verkeerslichten geregelde rotondes.

Meerstrooksrotondes met concentrische belijning hebben meestal twee en soms drie rijstroken (bijvoorbeeld Koninginneplein Venlo) en standaard enkelstroksafritten, bij uitzondering tweestroksafritten. Het bezwaar daarvan is dat de berijder van de linker aanvoerstrook op de rotonde op zeer korte afstand moet weven om de rotonde te kunnen verlaten. Bij toepassing van twee afvoerstroken ontstaat een ernstige conflictsituatie als de berijder van de buitenste rotondestrook toch de rotonde vervolgt in plaats van af te slaan.

Het capaciteitstekort op één of twee zwaar belaste takken van de rotonde kan door een extra passeerbaan (*bypass*) buiten de rotonde om worden opgevangen (Figuur 3.31). De uitmonding van de afzonderlijke strook moet echter circa 100 m doorlopen om veilig te kunnen invoegen.



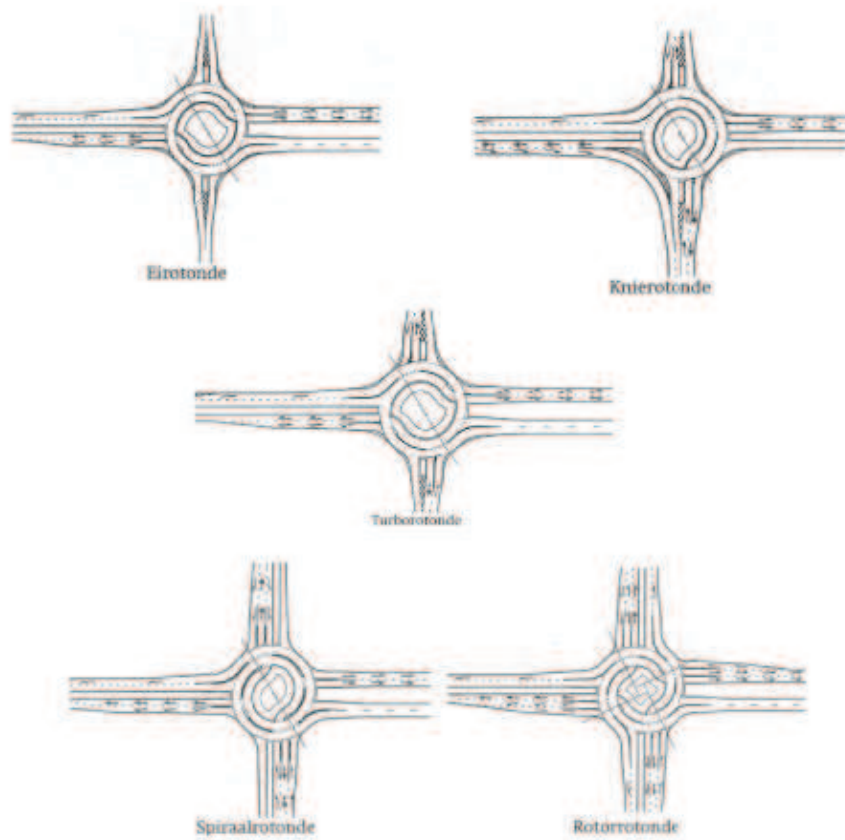
FIGUUR 3.31: PASSEERBAANROTONDE N215/RIJKSWEG 57 TE STELLENDAM

De turborotonde, in 1996 ontwikkeld door ir. L. Fortuin, wordt gekenmerkt door toepassing van niet meer dan twee stroken op de rotonde en spiraalbelijning. Daarbij zijn verschillende varianten mogelijk, zoals eirotonde, knierotonde, spiraalrotonde en rotorrotonde (Figuur 3.32 en Figuur 3.33). De turborotonde voorkomt weven op de rotonde en één keuzestrook in elk segment waarop de weggebruiker kan kiezen om de rotonde te verlaten of te vervolgen.

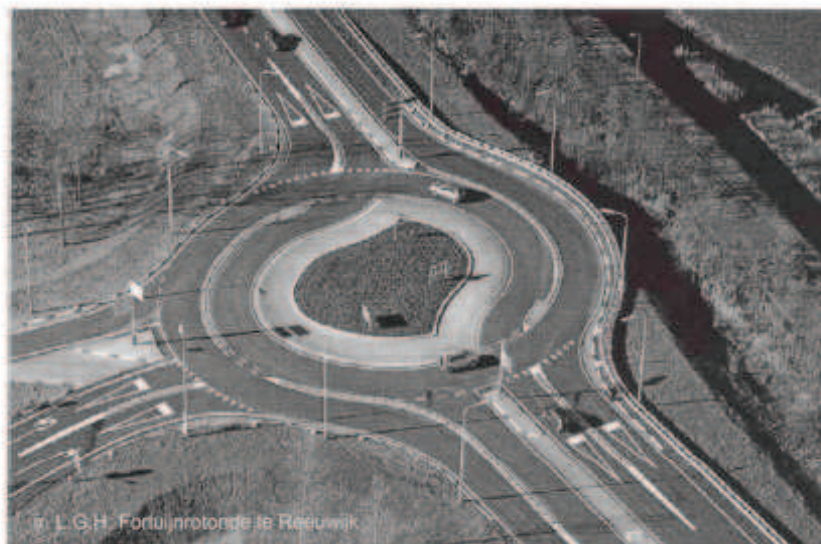
Rotondes zijn vooral geschikt op plaatsen waar een snelheidsreductie bij de overgang van stroomwegen op gebiedsontsluitingswegen gewenst is, zoals aan de rand van de bebouwde kom of van verblijfsgebieden. De haalbare snelheid op een rotonde binnen de bebouwde kom dient uit veiligheidsoverwegingen zo dicht mogelijk bij de 30 km/h-grens te liggen, waardoor de kans op ernstig letsel bij een conflict sterk gereduceerd wordt.

Bij een gelijkmatige verdeling van de verkeersintensiteiten van de hoofd- en zijstromen bedraagt de capaciteit van de enkelstrooksrotonde ruim 2000 pae/h, terwijl de tweestrooksrotonde ongeveer 3000 pae/h kan verwerken [Harte,1997]. De capaciteit van de enkelstrooksrotonde ligt daarmee ruim 50 % boven een voorrangskruispunt en circa 30 % beneden een tweestrooksrotonde, waaruit volgt dat de rotonde een behoorlijke verhoging van de capaciteit en de veiligheid ten opzichte van een ongeregeld kruispunt met zich mee brengt, maar de capaciteitstoename en de ongevalkans van de meerstrooksrotonde tegenvallen. De capaciteit wordt beïnvloed door een aantal factoren zoals:

- intensiteit van het conflicterende verkeer,
- intensiteit van het afslaande verkeer dat niet de rijrichting aangeeft,
- intensiteit van overstekende fietsers en voetgangers,
- aantal rijstroken op de rotonde,
- aantal en breedte van de rijstroken op de toeritten,
- breedte van de middengeleider,
- gedrag van de weggebruikers (hiaatacceptatie, wacht- en volgtijden),
- weersomstandigheden.



FIGUUR 3.32: VARIANTEN VAN DE TURBOROTONDE



FIGUUR 3.33: IR. L.G.H. FORTUINROTONDE N459/RIJKSWEW A12 TE REEUWIJK

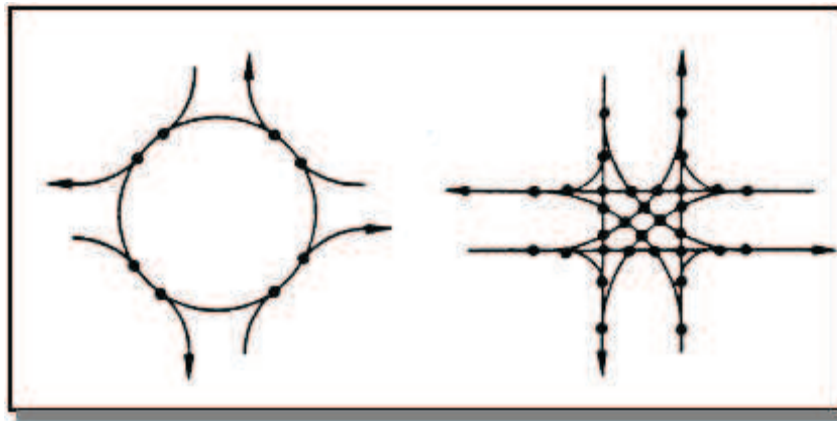
3.6.2 Veiligheid

In deze subparagraaf wordt ingegaan op twee veiligheidsaspecten die een belangrijke rol spelen op kruispunten. Dit zijn de ligging van de conflictpunten op het kruispunt en de zichtbaarheid van het kruispunt. Verder wordt ingegaan op de toepassing van de Duurzaam-Veilig-principes op kruispunten (zie ook Tabel 2.3).

Ligging conflictpunten

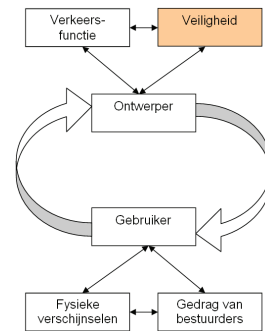
Het aantal en de ligging van de conflictpunten bepaalt in hoge mate de overzichtelijkheid en de veiligheid van een kruispunt. Een conflictpunt is een punt waarop twee of meer rijlijnen van voertuigen elkaar kruisen. Dit zijn dus punten waar voertuigen uit verschillende richtingen elkaar kunnen raken.

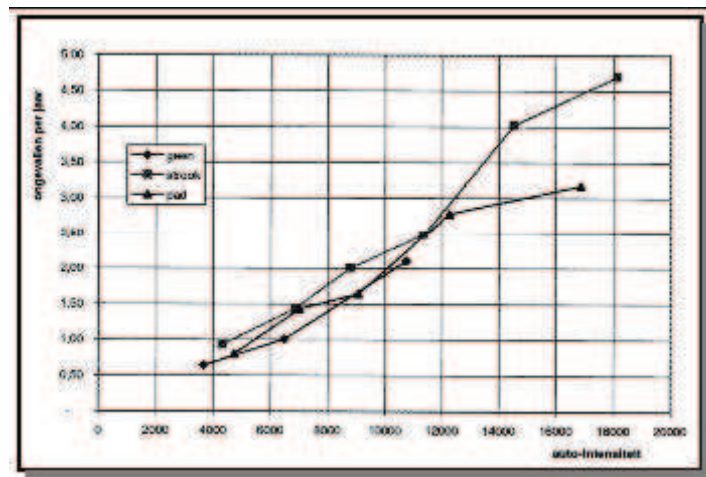
Voor de veiligheid op een kruispunt is het van belang dat de bestuurder de conflictpunten duidelijk kan zien. Hij moet zich ervan bewust zijn op welke plaatsen hij met andere voertuigen in conflict kan komen. Het aantal en de ligging van conflictpunten verschilt per kruispunttype. Op een eenvoudig, gelijkvloers kruispunt liggen de conflictpunten vaak dicht bij elkaar in het midden van het kruispunt. Op een rotonde zijn de conflictpunten juist uit elkaar getrokken. Een rotonde vermindert het aantal conflictpunten van 32 tot 8 (Figuur 3.34).



FIGUUR 3.34: CONFLICTPUNTEN OP ENKELSTROOKSROTONDES EN KRUISPUNTEN

Een tangentiële aansluiting van de toe- en afvoerstroken leidt door de krappe boogstralen tot een effectieve vermindering van de snelheid op de rotonde, waardoor de verkeersonveiligheid in vergelijking met ongeregelde en met verkeerslichten geregelde kruispunten met 50 à 70 % afneemt [SWOV 1993]. Daarom worden sinds het begin van de jaren tachtig in veel Europese landen binnen en buiten de bebouwde kom rotondes toegepast. Figuur 3.35 toont echter dat het aantal ongevallen stijgt met de intensiteit van het autoverkeer.





FIGUUR 3.35: AANTALLEN ONGEVALLen PER JAAR ALS FUNCTIE VAN DE INTENSITEIT [VAN MINNEN, 1995]

Zichtbaarheid

Een kruispunt behoort op voldoende grote afstand zichtbaar te zijn om het de verkeersdeelnemer mogelijk te maken zijn gedrag tijdig aan te passen aan de eisen die het kruispunt stelt. Daartoe is het nodig de verkeersdeelnemer te attenderen op de aanwezigheid van een kruispunt, (ruim) voordat hij eventuele kruisende voertuigen waarneemt, dat wil zeggen op een afstand groter dan de lengte van de zogenoemde anticipatieruimte. De zichtbaarheid van een kruispunt kan op verschillende wijzen worden verbeterd:

- door *stedenbouwkundige* maatregelen, zoals een plaatselijke verruiming van het profiel van de belendende bebouwing, een andere soort hoekbebouwing (winkels op hoeken!), een duidelijk verspringen in de goothoogte, een doorgaande laanbeplanting duidelijk onderbreken of met een andere soort beplanting afwisselen;
- door *verkeerstechnische* maatregelen, zoals de toeleidende straten iets hoger te leggen dan het kruispunt (10 à 20 cm), waardoor de onderbreking van de trottoirranden duidelijker zichtbaar wordt; het aanbrengen van verschillende soorten verhardingen op kruispunt en toeleidende wegen; het accentueren van het onderbreken van de trottoirrand door blokken, hekwerken;
- door *verkeerskundige* maatregelen, zoals het plaatsen van waarschuwborden, wegdekmarkeringen, bewegwijzering, het aanbrengen van verhoogde verkeersdruppels of -eilanden, waardoor het beeld van het wegprofiel wordt gewijzigd. Het is zelfs mogelijk met behulp van verkeersborden de aard van het kruisende verkeer aan te duiden (schoolkinderen, spoorwegovergang, fietsen, dieren).

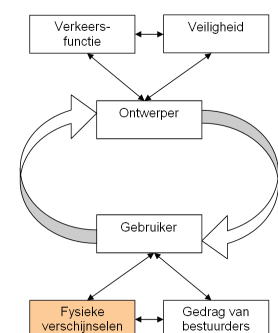
3.6.3 Fysieke verschijnselen

De berijdbaarheid van het kruispunt of de rotonde is van groot belang. Alle voertuigen die het kruispunt of de kruising mogen passeren, moeten dit zonder problemen kunnen doen.

Kruispunten

Bij adequate voor-waarschuwing en voldoende uitzicht op de te kruisen weg mag men aannemen dat de "normale" bestuurder in staat is de nodige maatregelen te nemen om een botsing met een kruisend voertuig te vermijden en het kruispunt op een veilige wijze over te steken. Het berijden en ontruimen van het kruispunt zal in het algemeen bij rechtuit rijden geen moeilijkheden geven, indien het voorbij het kruispunt gelegen afrijvak vrij is (dus bushaltes, noch geparkeerde auto's). De tijd van ontruiming wordt bepaald door de rij snelheid, respectievelijk het acceleratievermogen en de lengte van het voertuig.

Bij afslaan bewegingen wordt de snelheid beperkt door het nemen van de bocht. De grotere rolweerstand in de bocht veroorzaakt een geringere versnelling, terwijl de mogelijke maximumsnelheid beperkt wordt door de stabiliteit van het voertuig en het comfort van inzittenden



en lading. De ontruimingstijd van een kruispunt wordt ongunstig beïnvloed door de geringe snelheid van het afslaande verkeer, in het bijzonder van het links afslaande verkeer. Vergroting van de boogstraal voor het links afslaande verkeer en daarmee gepaard gaande verhoging van de mogelijke maximumsnelheid doen de kruisingontruimingstijd weer afnemen. Een rechts afslaand voertuig kan alleen achterop worden gereden nadat het is afgeslagen. Als de cirkel van de trottoirband kleiner is dan de mechanisch kleinst mogelijke draaicirkel wordt het voertuig op de linkerrijstrook gedrongen, met de mogelijkheid van een frontale botsing. De minimum-stralen van de binnenbocht die een auto(achter)wiel kan beschrijven zijn:

- voor personenauto's: $R_{min} = 6,00 \text{ m}$,
- voor vrachtauto's: $R_{min} = 11,50 \text{ m}$.

De uiteindelijke keuze van boogstralen is sterk afhankelijk van de betreffende situatie. Zo zal bij intensief verkeer en een groot percentage vrachtverkeer zonder meer uitgegaan moeten worden van laatstgenoemde boogstralen. Bij zeer geringe intensiteiten en nauwelijks vrachtverkeer is het echter niet bezwaarlijk dat een rechts afslaande vrachtauto over korte afstand de linkerweghelft gebruikt. Dan zijn relatief kleine boogstralen acceptabel. Een gebruikelijke minimumstraal in woonbuurten is 2 m.

Rotondes

Het ruimtebeslag van een enkelstrooksrotonde (circa 1800 m^2) is vanwege het middeneiland meer dan twee keer zo groot als een voorrangskruispunt (circa 800 m^2), maar duidelijk minder dan een tweestrooksrotonde (circa 3000 m^2). De ontwerpvariabelen van rotondes en de aanbevolen waarden staan in Tabel 3.13 vermeld.

Ontwerpvariabelen [m]	enkelstrooks- rotonde	tweestrooks- rotonde
binnendiameter	13 – 30	24 - 80
buitendiameter	25 - 40	44 - 108
rijbaanbreedte	5 - 6	9 - 11
breedte overrijdbare strook	2 - 3	5 *)
afrondingsboog toerit	10 - 14	10 - 100
afrondingsboog afrit	10 - 14	12 - 100
rijstrookbreedte toerit, afrit	3,0 - 4,0	3,0 - 4,5
breedte middengeleider	2 - 5	1,6 - 18
afstand oversteekplaats	5 - 10	5 - 10

TABEL 3.13: AANBEVOLEN WAARDEN VOOR HET ONTWERP VAN ROTONDES

Indien de rotonde vaker door vrachtwagens wordt bereden, lijkt een minimale rijstrookbreedte van de toe- en afrit van 4,0 – 4,5 m beter te voldoen om schade aan de trottoirbanden te beperken.

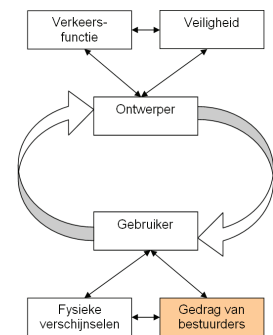
Bij het bepalen van de vormgeving van de rotonde moet naast de ontwerpssnelheid en capaciteit ook de berijdbaarheid door het maatgevende ontwerpvoertuig worden gegarandeerd. De rijstrook op de rotonde wordt om die reden van een verhoogde overrijdbare strook aan de binnenkant voorzien, zodat bussen en vrachtwagens daarvan gebruik kunnen maken zonder dat de auto's daaroverheen met een ongewenst hoge snelheid rijden. In het verleden werden op enkele plaatsen in Nederland mini-rotondes aangelegd met een binnendiameter van minder dan 12 m, waardoor gelede bussen en vrachtwagencombinaties in de knel kwamen.

3.6.4 Gedrag van bestuurders

Het is van groot belang dat bestuurders het kruispunt of de rotonde goed kunnen overzien en ook begrijpen. Eerst wordt het een en ander uitgewerkt over het oprijzicht, daarna over de begrijpelijkheid van het kruispunt.

Oprijzicht

Als het verkeer op een zijweg aangekomen is bij een kruisingsvlak, moet het voldoende uitzicht worden geboden om de aanwezigheid en de snelheid van het verkeer op de hoofdweg te kunnen bepalen voordat het de hoofdweg oprijdt of kruist. De op de zijweg wachtende bestuurder moet kunnen schatten of de door hem gewenste beweging veilig en zonder hinder voor het verkeer op de hoofdweg kan worden uitgevoerd. Het oprijzicht moet in situaties buiten de bebouwde kom aanwezig zijn op minimaal 5 meter voor de kantstreep van de te kruisen of op te rijden weg; binnen de bebouwde kom mag met 3 meter worden gerekend.



Voordat wachtend verkeer op de zijweg de hoofdweg oprijdt, moet de bestuurder bepalen of het hiaat in de verkeersstroom op de hoofdweg voldoende groot is om deze beweging veilig uit te voeren. Dit *kritische tijdsinterval* is onder andere afhankelijk van de snelheid op de hoofdweg en de uit te voeren beweging, dus ook afhankelijk van de vormgeving.

Wellicht door het grote aantal onzekere factoren en de spreiding daarin (optrek-karakteristiek van voertuig, ervaring en durf van bestuurder, aanvaarde mate van hinderende verkeer op hoofdweg) geeft noch de RONA, noch de ASVV (2004) een rekenkundige onderbouwing van de afstanden benodigd voor het oprijzicht. Er worden wel indicatieve maten gegeven (zie Tabel 3.14)

V_{ontw} [km/h]	30	40	50	60	70	80	90	100
Oprijzicht [m]	50	60	75	100	125	150	200	250

TABEL 3.14: OPRIJZICHT VANAF DE ZIJWEG IN RELATIE TOT DE SNELHEID OP DE HOOFDWEG

Opgemerkt wordt dat hoge snelheden op de hoofdweg moeilijk zijn te schatten, evenals de afstanden waarop voertuigen zich bevinden. Voertuigen op de zijwegen kunnen een automobilist op de voorrangsweg enorme schrikreacties bezorgen indien zij met onverminderde snelheid op het kruispunt toe rijden om pas op het allerlaatste moment af te remmen. In dat geval kan zijn anticipatie, op grond van het gedrag van de kruisende auto, de automobilist op de voorrangsweg tot de conclusie leiden dat een botsing onvermijdelijk is. Een botsing zal optreden, indien de hoek van peiling (α) constant blijft (zie Figuur 3.36).

In een vlak gebied met een ruime horizon is, bij een constante hoek van peiling, een kruisend voertuig bijzonder moeilijk waar te nemen. Het kruisende voertuig blijft in dat geval namelijk op dezelfde plaats in de voorruit; het voertuig lijkt in het landschap niet van plaats te veranderen; het wordt alleen groter bij het naderbij komen. Men kan dit probleem oplossen door het aanbrengen van coulissen in het landschap (bijvoorbeeld bomen langs de te kruisen weg). Doordat de bomen nu namelijk wegschieten ten opzichte van het kruisende voertuig, is de beweging van dit voertuig wel te zien (zie Figuur 3.37).

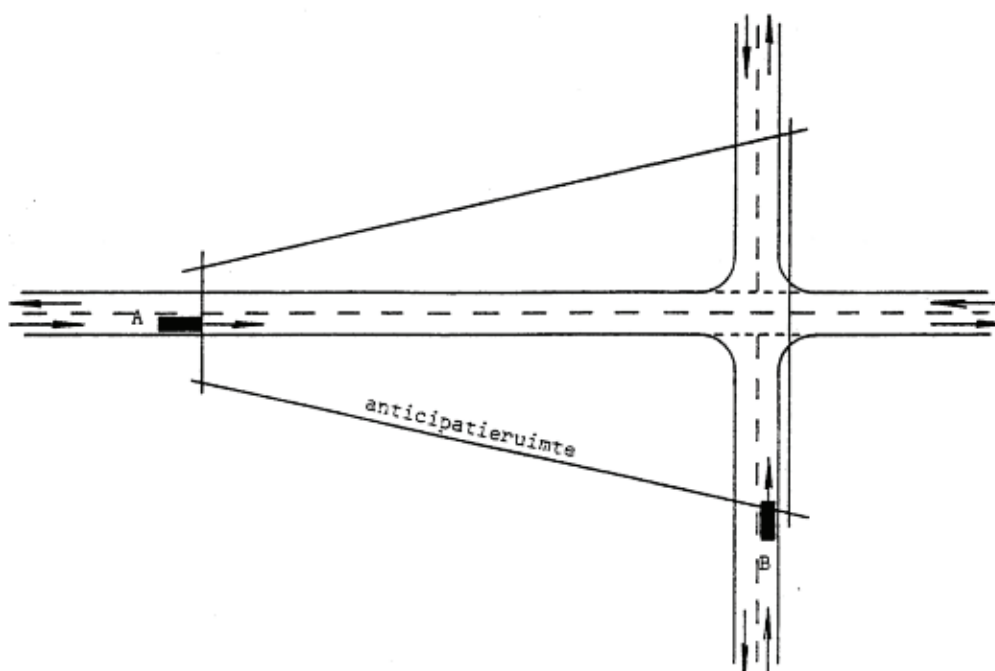
Als maximale waarde voor de afstand waarop naderende voertuigen op een recht wegvak kunnen worden waargenomen, wordt 300 m aangehouden. Bij een snelheid van 100 km/h op de hoofdweg betekent dit een interval van circa 11 s. Voor een vrachtauto met aanhanger (18 m) is dit onvoldoende voor het uitvoeren van bijvoorbeeld een linksafbeweging vanaf de zijweg. Een goed onderling samenspel tussen bestuurders is dan noodzakelijk met een daarbij aangepaste rijnsnelheid van het verkeer op de hoofdweg.

Op kruispunten waar de voorrang niet met borden is geregeld, moeten de verkeersdeelnemers op alle toeleidende takken op dezelfde wijze naderen met een hoog attentieniveau (aangepast naderingsgedrag), zodat aan gemotoriseerd verkeer van rechts voorrang kan worden verleend. Als het past in het verwachtingspatroon en indien dit aan de weggebruikers voldoende duidelijk is te

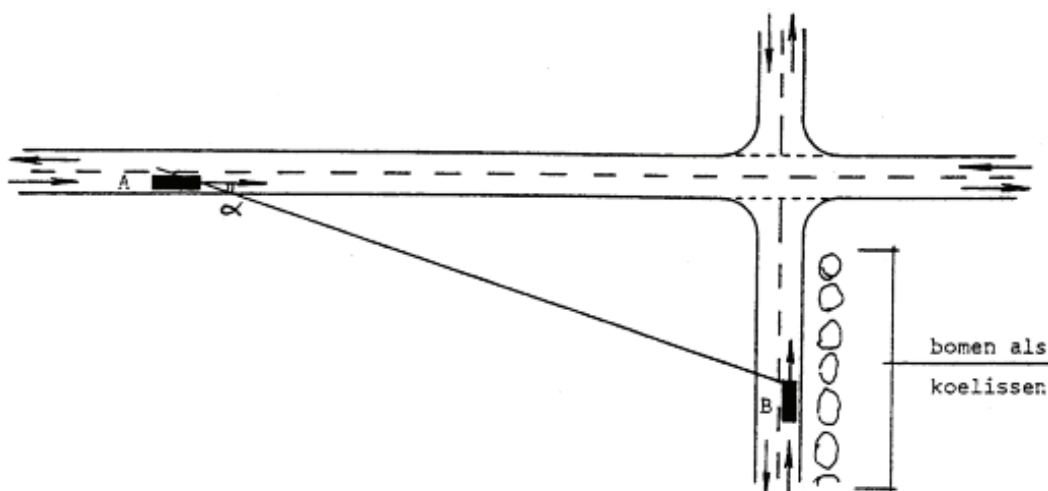
maken, kan theoretisch op alle toeleidende takken worden volstaan met de voor het oprijzicht opgegeven maat. Wanneer dit niet het geval is, moet de voorrang met borden worden geregeld.

Indien langs de hoofdweg vrijliggende fietspaden zijn gelegen, die in de voorrangsregeling zijn opgenomen, dient ook vanaf de zijweg voldoende uitzicht (oprijzicht) op de fietspaden te bestaan, vergelijkbaar met het hiervoor beschreven oprijzicht. Het zicht vanaf de zijweg op het fietspad dient op 5 m voor de fietsoversteekplaats aanwezig te zijn en in verband met de hoge naderingssnelheid van bromfietzers 75 m te bedragen. Bij een eenzijdig, in twee richtingen bereden fietspad moet hieraan bijzondere aandacht worden besteed.

In geval van situering van een gelijkvloers kruispunt in een bolle boog (overigens een minder gewenste situatie) dient ook het vereiste oprijzicht in de berekening van de bolle boog te worden betrokken (paragraaf 3.4.3). De objecthoogte bij het oprijzicht bedraagt, net als bij het inhaalzicht 1,10 m.



FIGUUR 3.36: ANTICIPATIERUIMTE VAN HET VOERTUIG A OP DE HOOFDWEG



FIGUUR 3.37: ANTICIPATIERUIMTE TUSSEN CONFLICTERENDE VOERTUIGEN OP EEN KRUISPUNT