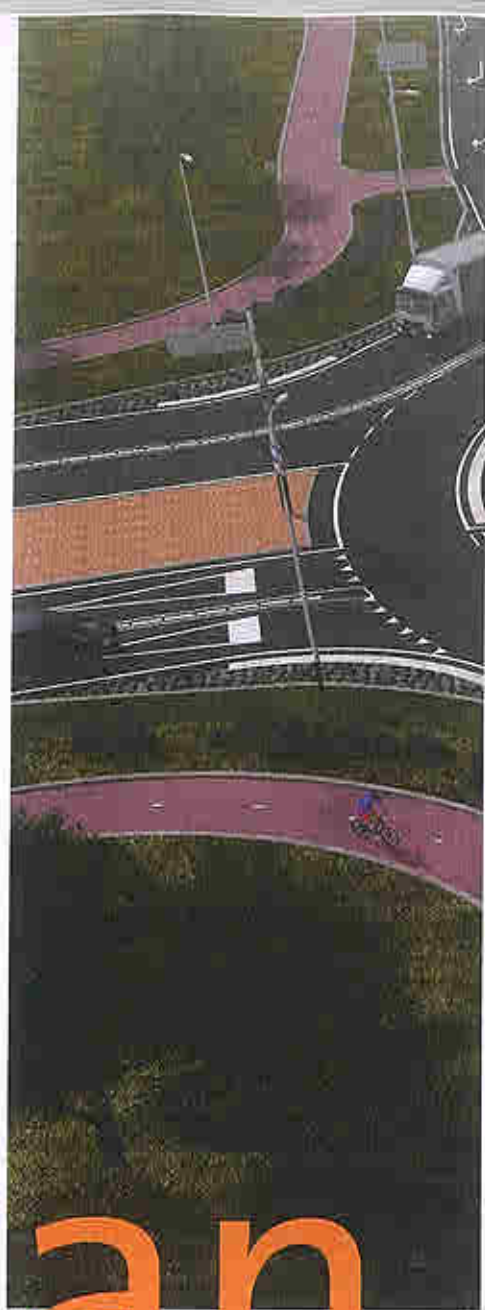


TEKST: Dirk de Baan, Royal Haskoning
John Boender, CROW
Bertus Fortuijn, provincie Zuid-Holland/TU Delft

De turborotonde. Na tien jaar ervaring zijn er inmiddels ruim 70 gerealiseerd, de meeste buiten de bebouwde kom, maar ook steeds meer binnen de kom. Aanleiding voor CROW om een handleiding te publiceren met tools voor de afweging, het ontwerp en de communicatie met bestuur, bevolking en weggebruiker. Maar bovenal de aanbeveling om vooral turborotondes aan te leggen, vanwege de verkeersveiligheidswinst.

Vrij baan voor veilige



Nadat de overrijdbaar verhoogde baanscheiding als een essentieel onderdeel van de turborotonde in 1999 op de kluifrotonde Coldenhove was uitgetest, is de eerste turborotonde in de IJsselmondse Randweg in Barendrecht begin 2000 zonder veel ophef opengesteld voor verkeer. Sindsdien zijn we tientallen turborotondes verder en

hebben de ontwerpers, verkeerskundigen én weggebruikers veel ervaring opgedaan. De eerste ontwerpen zijn in de afgelopen tien jaar bijgeschaafd en verfijnd. Bij een turborotonde kiest de weggebruiker vóór de rotonde de juiste rijstrook. Door de spiraalvorm, toepassing van een verhoogde rijstrookscheiding en compacte



illustratie: Koyu Hashizume

CROW publiceert tools voor afweging, ontwerp én voorlichting

turborotonde

vorm blijft de passeersnelheid laag. Om een rotonde het predikaat 'turborotonde' te geven, moet aan een aantal eisen worden voldaan (fig. 1). Vaststaat dat de turborotonde verkeersveiliger is dan een kruispunt met verkeerslichten [1] en óók veiliger dan een gewone tweestrooksrotonde. Een turborotonde

heeft namelijk twee potentiële conflictpunten én vier weef- en/of snijconflicten minder dan een tweestrooksrotonde. Daarnaast is de capaciteit van bepaalde typen turborotondes groter dan van concentrische tweestrooksrotondes. De verkeersstromen verdelen zich evenwichtiger over de rotondestroken, terwijl de volgafstanden

op een turborotonde kleiner kunnen zijn doordat het overige verkeer op de rotonde niet meer de aandacht van de bestuurder vergt. Verder is de voorrangssituatie bij turborotondes minder complex, waardoor onzekerheid wordt voorkomen aan wie allemaal voorrang moet worden verleend. Men kan eerder oprijden en de capaciteit

neemt toe. Ook het verlaten van de rotonde is eenvoudiger, omdat de bestuurder niet op andere auto's hoeft te letten: iedereen heeft een eigen afrijdstrook en wordt niet gesneden door anderen. De hele verkeersafwikkeling wordt hierdoor sneller, maar de rij snelheden blijven laag.

De ontwikkeling en realisatie van dit nieuwe type rotonde in Nederland was voor CROW aanleiding om richtlijnen voor de afweging, het ontwerp én voorlichting op te stellen. Deze maand verschijnt een nieuwe CROW-publicatie over turborotondes [2]. Hierin zijn ten opzichte van de eerste ontwerpen diverse aanpassingen doorgevoerd, gebaseerd op de ervaringen met de gerealiseerde turborotondes. Deze aanpassingen verbeteren de verkeersveiligheid nog verder. Het meest in het oog springend is de rechte hoek in het middeneiland bij het ontstaan van een nieuwe rijstrook. Bij de tot nu toe gerealiseerde turborotondes is deze vorm een vloeiende lijn, waardoor een oprijdende chauffeur

zou kunnen verwachten dat het voertuig waaraan voorrang moet worden verleend, naar deze nieuw ontstane rijstrook zou gaan. Deze vervolgt echter terecht zijn weg. De rechte hoek voorkomt dit verwachtingspatroon, waardoor de verkeersveiligheid verbetert.

Tweestrooksrotonde

Tweestrooksrotondes worden veelal gerealiseerd om een hogere capaciteit te bieden dan enkelstrooksrotondes. Aan deze hogere capaciteit kleven bij een gewone, concentrische, tweestrooksrotonde enige nadelen ten aanzien van de verkeersveiligheid. Op de tweestrooksrotonde zelf moet, wil hij goed functioneren, van rijstrook worden gewisseld. Maar dit kan leiden tot schampaanrijdingen en onzeker gedrag. Bij het verlaten van de tweestrooksrotonde is het mogelijk vanaf de binnenste rijstrook iemand op de buitenste rijstrook de pas af te snijden. Deze snijconflicten zijn vaak oorzaak van ernstige ongevallen. Verder is de snelheidsremming beperkt omdat men

vanaf de rechterstrook via de binnenste rotondestrook weer naar de rechterstrook kan gaan en zo de tweestrooksrotonde met hoge snelheid kan passeren. Bij een kleine diameter kan de snelheid oplopen tot wel 60 à 80 km/uur. Een concentrische tweestrooksrotonde, waarvan twee afritten met dubbele rijstroken zijn uitgevoerd, telt twaalf potentiële dwarsconflicten, twee snijconflicten en twee weefconflicten.

Turborotonde veiliger

Een turborotonde kent 'slechts' tien potentiële dwarsconflicten die alle zijn geconcentreerd bij het oprijden. De grotere verkeersveiligheid van een turborotonde is te danken aan vijf verbeteringen ten opzichte van de tweestrooksrotonde:

- De automobilist kiest vóór het kruispunt de juiste rijstrook zodat op de rotonde niet meer gewisseld hoeft te worden. De spiraalbelijning maakt dat mogelijk. Snijconflicten komen hierdoor niet meer voor.
- Extra rijstroken op de rotonde beginnen altijd tegenover de toerit.
- Sinds de nieuwe richtlijnen wordt het begin van een nieuwe binnenste rijstrook gemarkeerd door rechte hoeken in het middeneiland. Deze ondersteunen het verloop visueel beter dan afgeronde hoeken.
- De vormgeving is compact en voorzien van verhoogde rijstrookscheidingen.
- Door de verhoogde rijstrookscheidingen blijft de passeersnelheid laag en is met maximaal 40 km/uur vergelijkbaar met een enkelstrooksrotonde.

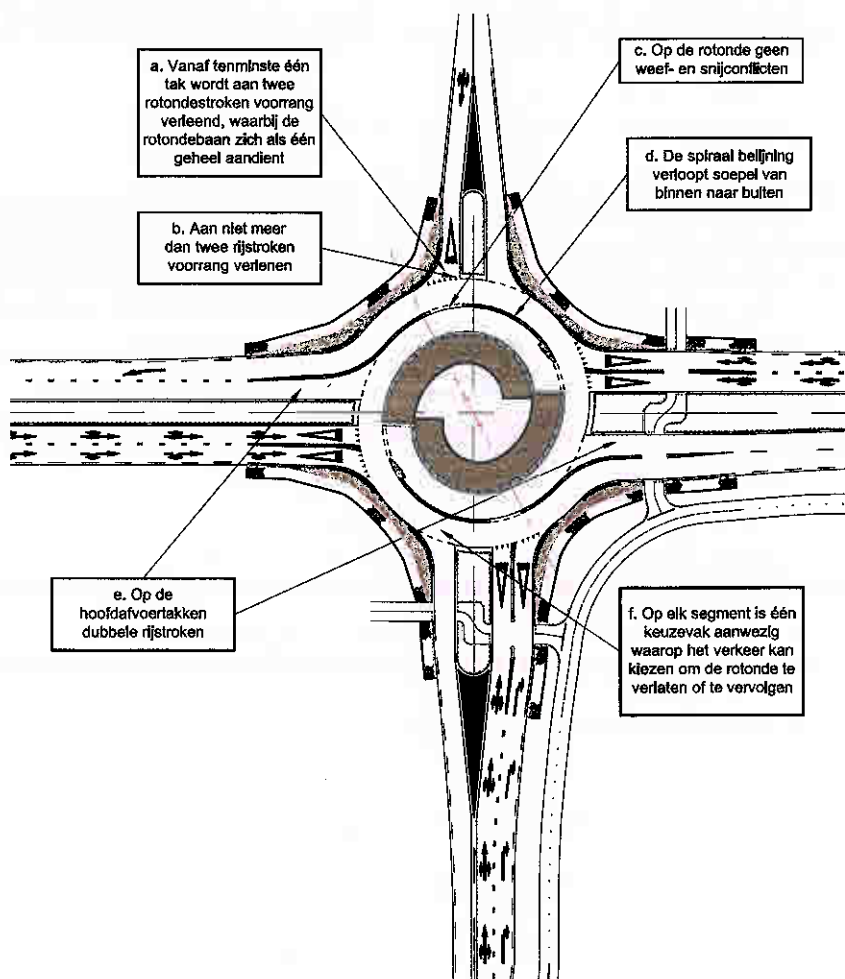
De relatieve afname van het aantal letselongevallen is vergelijkbaar met de afname na aanleg van enkelstrooksrotondes. Op basis van de veel grotere verkeersveiligheid beveelt het CROW aan om alleen nog turborotondes aan te leggen en geen concentrische tweestrooksrotondes.

Voorzieningen voor veiligheid

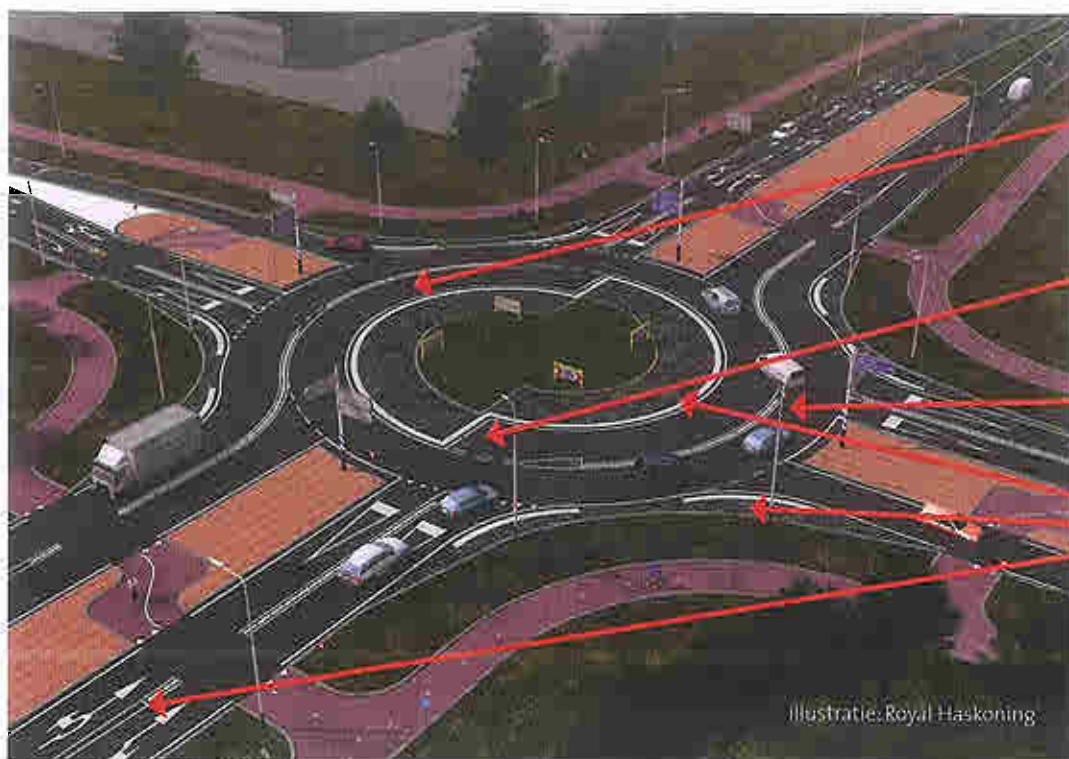
De spiraalbelijning maakt een rotonde met meer rijstroken mogelijk zonder strookwisselingen op de rotonde. Daardoor is een essentieel onderdeel van het proces van oriëntatie en richtingkeuze verschoven naar het wegvak vóór de rotonde en vervalt een aantal potentiële conflictpunten.

De voorzieningen voor een hoog veiligheidsniveau (fig. 2) laten zich als volgt beschrijven:

- De kleine boogstraal ($R=12$ m) van het middeneiland leidt tot een compacte rotonde. De grootste diameter van de basis



1. Vier essentiële (a t/m d) en twee aanvullende eisen (e en f) voor een turborotonde



Compacte vormgeving via kleine boogstralen zorgt voor lage rijnsnelheden.

Start binnenste rotondestrook via rechte hoek voorkomt onzekerheid over het verloop van de rijstrook.

Verhoogde rijstrookscheiding zorgt voor het volgen van de juiste rijstrook en snelheidsremming.

Rammelstrook in oksels en op middeneiland t.b.v. zwaar verkeer

Pijlconfiguratie zorgt al op toerit voor de juiste rijstrookkeuze.

Illustratie: Royal Haskoning

2. Voorzieningen voor hoog veiligheidsniveau.

turborotonde, exclusief fietspaden, is dan ongeveer 50 m. Een enkelstrooksrotonde heeft buiten de bebouwde kom, exclusief fietspaden, een diameter van 36 m [3]. Daarmee past een turborotonde al snel op een kruispunt waar nu verkeerslichten staan. De vierkante meters liggen alleen op een andere plek: meer op de rotonde, minder op de toeleidende wegvakken.

- De binnenste rijstrook start tegenover een aansluitende tak. Een rechte hoek onderstreept dat. Ten opzichte van de ruim 70 gerealiseerde turborotondes is dit het grootste verschil in verschijningsvorm. De ronding in bestaande turbo's leidt soms tot verwarring bij automobilisten die via de rechter rijstrook de rotonde willen oprijden. Zij zouden kunnen verwachten dat de auto op de turborotonde zijn weg via de binnenste rijstrook gaat vervolgen, terwijl de rijstrook via de buitenste rotondestrook doorloopt. Een rechte inwendige hoek voorkomt deze visuele verwarring.
- De rijstrookscheiding bestaat uit een 30 cm breed betonnen bandje dat 7 cm boven het wegdek uitsteekt. Dit hoogteverschil is voldoende om auto's te dwingen de eigen rijstrook te laten volgen én is toch overrijdbaar voor langere vrachtwagens. Glasbollen naast of bovenop het bandje geven ook bij duisternis geleiding.
- De rammelstroken op het middeneiland en aan de zijkant bieden extra ruimte

voor de beschreven baan van lange voertuigen. Een truck met oplegger kan de turborotonde passeren zonder gebruik te maken van het middeneiland. De rammelstrook in de oksels zijn bedoeld om bemschade te voorkomen, zodat schampblokken (die ernstig letsel kunnen veroorzaken) achterwege kunnen blijven. Echt lange voertuigen gebruiken zowel de rammelstrook op het middeneiland als in de oksels. Er is een nieuw type rammelstrookband ontwikkeld dat meer 'vrachtautovriendelijk' is én ook de snelle automobilist goed in het gareel houdt.

- De pijlconfiguratie zorgt in combinatie met de bewegwijzering per rijstrook voor de juiste rijstrookkeuze vóór het kruispunt. Op de turborotonde volgt de automobilist deze rijstrook en hoeft hij de rotonde alleen maar op het juiste moment te verlaten.

De fietspassage

Bij het ontwerp van een turborotonde dienen uiteraard keuzes te worden gemaakt met betrekking tot de passage van fietsers. Passeren zij de turborotonde ongelijkvloers, geven zij bij een gelijkvloerse kruising voorrang of krijgen zij voorrang op het fietspad rondom? De aanbeveling uit de CROW-publicatie 'Eenheid in rotondes' [3] kan bij turborotondes niet zomaar worden overgenomen. De keuze voor het type fietspassage ligt complexer. Niet de ligging - binnen of

buiten de kom - is bepalend voor de fietsvoorrang, maar de verkeersveiligheid voor de fietsers of het fietscomfort. Deze twee criteria liggen daarom ten grondslag aan de keuze voor het type fietspassage. Een ongelijkvloerse fietspassage voldoet aan beide het beste: zonder conflicten met het autoverkeer kan de fietser comfortabel de turborotonde passeren. Dit is dan ook de aanbeveling die in de CROW-publicatie is opgenomen. In figuur 3 een visualisatie.

Indien een ongelijkvloerse fietspassage niet realiseerbaar is, is de keuze voor de voorrangsregeling uit of in de voorrang aan de orde. De vormgeving van turborotondes is dusdanig dat het gemotoriseerde verkeer met meerdere rijstroken de turborotonde oprijdt en verlaat. Dit biedt kans op afdekongevallen, waarbij de fietser de grootste kans op letsel heeft. De aanbeveling is dan ook dat zowel buiten als binnen de bebouwde kom de fietser bij turborotondes uit de voorrang wordt gehouden, voor de eigen veiligheid. De veiligheid heeft dan in het verkeersbeleid prioriteit. In figuur 4 een beeld van de fietsers uit de voorrang.

De vraag is dan wat gemeenten kunnen doen die de fietser, conform de publicatie 'Eenheid in rotondes', op enkelstrooksrotondes binnen de bebouwde kom in de voorrang hebben rijden. Wisselingen in



3. Voorkeursoplossing voor fietspassage: ongelijkvloers.
4. Fietsers uit de voorrang, zowel buiten als binnen de bebouwde kom (illustratie: Royal Haskoning).
5. Fietsers in de voorrang, waarin de zes voorwaarden en eisen zijn verwerkt tot een redelijk verkeersveilige oplossing (illustratie: Royal Haskoning).
6. Wegwijzers geven informatie voor de keuze van de juiste rijstrook.

fietsvoorrangsregeling bij diverse opeenvolgende rotondes is voor weggebruikers lastig. Echter, omdat het voorsorteerdrag bij turborotondes sterk afwijkt van dat bij enkelstrooksrotondes, is een andere voorrangsregeling waarbij de fietser uit de voorrang rijdt, voor automobilisten niet problematisch. Voor de fietser maakt de uitbuiging van het fietspad de voorrangsregeling (haaiantanden en borden) 'natuurlijk' en duidelijk. Vandaar dat de aanbeveling is om fietsers op turborotondes - uit veiligheidsoogpunt - uit de voorrang te houden, ook bij meerdere enkelstrooksrotondes met fietsers in de voorrang.

Indien gemeenten het fietscomfort willen laten prevaleren, is voor hen een turborotonde ontwikkeld met veiligheidsvoorzieningen om de fietsers enigszins veilig in de voorrang te kunnen laten rijden. Aan toepassing van een turborotonde met fietsers in de voorrang zijn wel zes voorwaarden en criteria gesteld:

- bromfietzers niet op het fietspad maar op de rijbaan;

- het vrijliggend fietspad wordt in één richting bereden;
- een laag percentage vrachtverkeer (minder dan 5 procent);
- een hoog percentage fietsers (25 tot 30 procent van het autoverkeer);
- op alle enkelstrooksrotondes in de gemeente rijdt de fietser in de voorrang;
- verhoogd plateau waarop zowel fiets- als voetgangersoversteek ligt.

In figuur 5 zijn deze voorwaarden en eisen vertaald naar een turborotonde met fietsers in de voorrang. Vooral het plateau remt de snelheid van het autoverkeer waardoor automobilisten meer tijd krijgen om te anticiperen. Immers, het niet tijdig (kunnen) anticiperen van de automobilist op de fietser is de kern van het veiligheidsprobleem van fietsers in de voorrang. Een 'vlak' gedeelte van minimaal 4,5 m vóór de oversteek zorgt voor voldoende anticipatietijd voor de automobilist voordat hij de fietsers of voetganger 'treft'. Aanbevolen wordt de totale passage van het langzaam verkeer een rood/witte kleur te geven, dus ook tussen de zebrastrepen.

Begin 2008 zijn drie turborotondes met fietsers in de voorrang bij de auteurs van dit artikel bekend: in Geldrop, Hilversum en Roosendaal. In Geldrop en Hilversum hebben deze turbo's een volledig rondgaand fietspad. In Roosendaal is op één van de twee fietsoversteeken een plateau gerealiseerd en zijn verlichte borden met knipperlichten 'voetgangersoversteekplaats' boven het voetpad en fietspad aangebracht. Deze gaan knipperen via bewegingsdetectie bij voetgangers of fietsers op de oversteek. Uiteraard moet 'loos alarm' worden voorkomen, omdat dat de effectiviteit vermindert.

Turborotondes in soorten en maten

De intensiteitverdeling over de richtingen leidt tot verschillen in aantallen voorsorteevakken. Net als bij verkeerslichten leiden extra opstelstroken bij een turborotonde tot een betere verkeersafwikkeling. Zo zijn er ook verschillende typen turborotondes, als varianten op figuur 2. Voor selectie van de juiste rotondevorm heeft de provincie Zuid-Holland software ontwikkeld. Dit rekeninstrument én diverse andere 'turbobestanden' zijn op cd-rom bij de publicatie 'Turborotondes' gevoegd (zie ook kadertje hiernaast).

Bewegwijzering én turbopijlen

Essentieel voor de juiste rijstrookkeuze is goede bewegwijzering in combinatie met pijlmarkering met hoge informatiewaarde: de rotondepijl. Op de rotonde zelf is het



7. Pijlconfiguratie ondersteunt de juiste rijstrookkeuze voor de betreffende afslag op de turborotonde.

niet nodig aanvullend pijlen aan te brengen. Bovendien leveren pijlen in een bocht slipgevaar op voor motorrijders. De bewegwijzering bestaat uit voorwegwijzers (circa 400 m vóór rotonde), wegwijzers (fig. 6) (40-100 m vóór rotonde) en besliswegwijzers (in middengeleiders). De pijlconfiguratie (fig. 7) verschilt per rijstrook en per te volgen richting en is afhankelijk van het type turborotonde en het aantal rijstroken. Naar deze nieuwe voorsortee pijlen is onderzoek gedaan door TNO Human Factors [4]. Hieruit bleek dat de pijlmarkering met het rotondesymbool op de voorsorteevakken de rijstrookkeuze in relatie tot de afslagrichting zeer goed aanduidt, begrijpelijk is en de te volgen richting beter dan de conventionele pijlmarkering ondersteunt.

De weggebruiker heeft voor de richtingkeuze anticipatietijd nodig die in het verkeerskundig ontwerp moet worden gegeven. Bebording en markering moeten daarom geen sluitstuk zijn, maar integraal op duidelijkheid en consistentie worden getoetst. Het is niet schadelijk als meer wordt gedaan dan in de geldende richtlijnen [5] wordt voorgeschreven. Daarin zijn namelijk recente inzichten die ingaan op de extra waarneemtijd en behoefte aan herhaling van (oudere) verkeersdeelnemers, niet verwerkt. Altijd moet pijlmarkering worden toegepast. Op een toevoertak met twee rijstroken moet daarmee bijvoorbeeld ongeveer 180 m vóór de scheidingsband worden gestart, zodat oudere verkeersdeelnemers voldoende tijd krijgen om van rijstrook te wisselen [6]. Op 200 m is daar ook een (portaal)wegwijzer gewenst, waarop de strookindeling is aangegeven. Dat lijkt wellicht overdreven, maar op autosnelwegen zijn drie portaalwegwijzers gebruikelijk op plaatsen waar moet worden voorgesorteerd. Twee vragen die altijd moeten worden gesteld: zijn de wegwijzers goed op de pijlmarkering afgestemd? Zijn minimaal vier pijlen achter elkaar aangebracht?

Belijning

De belijning op de toeleidende wegen en op en na de turborotonde is conform de Essentiële Herkenbaarheidskenmerken (EHK). De onderbroken belijning aan de rechterkant van de toeleidende wegen wordt ter hoogte van de pijlmarkeringen omgezet naar een doorgetrokken lijn om te voorkomen dat te veel verschillende soorten belijning de weggebruiker in verwarring brengt. In verband met het gevaar

om op de rotonde van de binnenste naar de buitenste strook te wisselen, wordt de belijning aan de rechterkant van de binnenste rotondestrook als een doorgetrokken lijn uitgevoerd.

Literatuur

1. Fortuijn, L.G.H., Veiligheidseffect turborotondes in vergelijking met enkelstrooksrotondes. Verkeerskundige werkdagen 2005, B27, CROW, Ede, 2005.
2. Turborotondes, CROW-publicatie 257, Ede, april 2008.
3. Eenheid in rotondes, CROW-publicatie 126, Ede, 1998.
4. Rotondepijlen op voorsorteevakken, een begrijpelijkheidsstudie, TNO Technische Menskunde, TM-01-CO23, Soesterberg, juni 2001.
5. Richtlijnen voor de bebakening en markering van wegen, CROW-publicatie 207, Ede, 2005.
6. Davidse, R.J., Assisting the older driver, Intersection design and in-car devices to improve the safety of the older driver, SWOV-Dissertatiereeks, Leidschendam, december 2007.

Cd-rom

Bij de CROW-publicatie 'Turborotondes' wordt een cd-rom meegeleverd met software voor verkeerskundige, ontwerper en beleidsmedewerker. Alle bestanden op de cd-rom zijn gratis en rechtenvrij te gebruiken.

Kortweg

- Omdat de verkeersveiligheid van turborotondes hoger is dan van gewone tweestrooksrotondes en van kruispunten met verkeerslichten, worden in Nederland steeds meer van dergelijke rotondes aangelegd.
- Het CROW heeft een publicatie uitgebracht die als handleiding kan dienen bij afweging, ontwerp en communicatie.
- Hierin zijn ten opzichte van de eerste ontwerpen diverse aanpassingen doorgevoerd, gebaseerd op de ervaringen met de gerealiseerde turborotondes.