

Turborotondes: in het spoor van Bertus Fortuijn, ontwikkeling en verspreiding in Europa

Maria Salomons – Technische Universiteit Delft – a.m.salomons@tudelft.nl
Bertus Fortuijn – Technische Universiteit Delft – l.g.h.fortuijn@tudelft.nl of LGH@Fortuijn.com
Gijs Rijgwart – Technische Universiteit Delft – g.w.j.rijgwart@student.tudelft.nl

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 21 en 22 november 2024, Utrecht

Samenvatting

Stoppen of doorrijden, een kruising is veiliger met zo min mogelijk conflicten. Rotondes hebben minder conflicten dan andere kruispunten, maar meerstrooksrotondes hebben meer en onoverzichtelijker conflicten dan enkelstrooksrotondes, en dat was een doorn in het oog van Bertus Fortuijn. In 1996 ontwierp hij (als hoofdambtenaar verkeer van Zuid-Holland) de eerste turborotonde. Een turborotonde heeft spiraalvormige rijstroken gescheiden door verhoogde rijstrookafscheidings, hetgeen weefconflicten elimineert. Het aantal over te steken stroken is maximaal twee, en er zijn geen snijconflicten bij het verlaten van de rotonde. Dit ontwerp verhoogt de veiligheid en voorspelbaarheid van het verkeer. De eerste turborotonde werd in 1999 in Zuid-Holland aangelegd en verspreidde zich snel door Nederland, en Fortuijn beschreef dit nieuwe ontwerp in zijn proefschrift in 2013.

Populair werd de turborotonde zeker, door de voordelen in veiligheid en efficiëntie, eerst in Nederland en later internationaal. Onderzocht is, hoe turborotondes zich hebben ontwikkeld en verspreid. Dit werd gedaan met behulp van literatuur, de turborotonde-database van Dirk de Baan, en Google Maps satellietbeelden. Sinds de introductie in 1999 zijn in Nederland 415 turborotondes aangelegd. Ook buiten Nederland, vooral in Oost-Europa, zijn turborotondes te vinden, in totaal zijn er 777 wereldwijd. Turborotondes voldoen aan specifieke ontwerpcriteria, maar hebben variaties aangepast aan lokale omstandigheden c.q. ontwerptradities. Variaties in ontwerp zijn bijvoorbeeld de vorm van de binnenhoek en de vorm van de rijstrookafscheidings, of de grootte van de turborotonde.

Omdat de turborotonde een nieuw ontwerp was, waar de verkeersdeelnemer aan moest wennen, is ook onderzocht hoe ze na 25 jaar worden gewaardeerd. Middels een enquête onder rijbewijsbezitters is onderzocht hoe het staat met de perceptie van efficiëntie, veiligheid, en duidelijkheid van turborotondes. Met statistische toetsen zijn verschillen tussen groepen geanalyseerd. Turborotondes worden over het algemeen goed gewaardeerd, en als efficiënt en redelijk veilig ervaren (3-4 op een schaal van 5). Er is geen significant verschil in perceptie op basis van rijervaring of autogebruik, hoewel oudere bestuurders (60+) meer moeite hebben met de duidelijkheid en efficiëntie dan jongere.

Ook in de Verenigde Staten worden turborotondes steeds vaker opgenomen in ontwerprijlijnen. Na een studie van Europese turborotondes heeft de Federal Highway Administration (FHWA) aanbevelingen gedaan voor VS wat betreft het ombouwen van meerstrooksrotondes tot, en construeren van nieuwe turborotondes.

Robuust blijft het ontwerp inderdaad! Er kan worden geconcludeerd dat de turborotonde, 25 jaar na het eerste ontwerp, zich nog verspreidt. Ze worden gewaardeerd als een veilige, effectieve en begrijpelijke meerstrooksrotonde, geschikt voor Nederland en daarbuiten.

1. Turborotondes, een introductie

1.1 De ontstaansgeschiedenis

Als twee wegen elkaar kruisen, zijn er diverse opties om te zorgen dat het verkeer zich op een veilige manier over de conflictvlakken beweegt, namelijk: kruisingen waar de voorrang al dan niet geregeld wordt met borden en markering, geregelde kruisingen met verkeerslichten, of rotondes. Uit onderzoek blijkt dat rotondes een veilige manier zijn om de conflicten af te handelen voor autoverkeer (Dijkstra, 2014). Het ontwerp van het kruispunt moet zodanig zijn dat het verkeersaanbod kan worden verwerkt. Bij een hoog verkeersaanbod moeten er meerdere stroken per aanvoerrichting zijn, en uiteraard dan ook meerdere stroken over het kruispunt zelf. Bij een conventionele concentrische rotonde betekent meer stroken een toename in het aantal conflictpunten. Met name het weven over de rotonde zelf zorgt daarbij voor onveiligheid. Bertus Fortuijn, destijds hoofdamtenaar verkeer van de provincie Zuid-Holland, kwam in 1996 na het schetsen van spiralen op de oplossing hoe stroken ontworpen dienen te worden om deze weef- en snijconflicten te elimineren onder de conditie dat aan niet meer dan twee rotondestroken voorrang verleend hoeft te worden. Dit leidde tot het ontwerp van de turborotonde (waarbij het woord "turbo" van turbine is afgeleid). In Zuid-Holland werd de eerste turborotonde aangelegd in 1999 (De Bont, 2022). Omdat het ontwerp beviel, verspreidde het ontwerp zich over Nederland, en het leidde tot een proefschrift van Bertus Fortuijn (Fortuijn, 2013).

1.2 Turborotondes: Kenmerken en richtlijnen

Een turborotonde is een meerstrooksrotonde, waarbij de rijstroken spiraalvormig verlopen in plaats van concentrisch. In het concept van de concentrische belijning ging men er vanuit dat de bestuurders zich bewust zouden zijn van een rijstrookwisseling op de rotonde en daarom voorrang zouden verlenen (zoals bij weven op een gestrekt wegvak). Op een rotonde is dat echter niet goed mogelijk en wel om twee redenen:

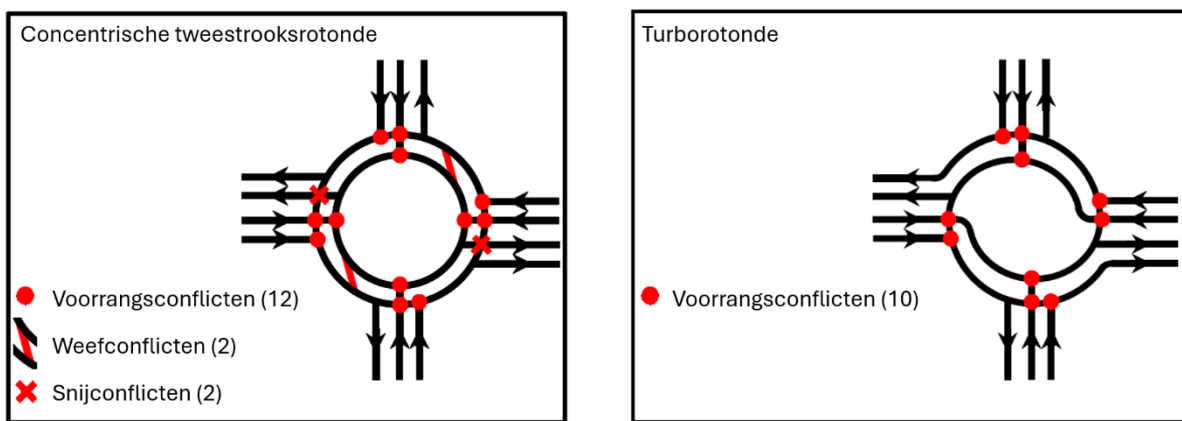
1. in een linkerbocht is het zicht op rechtsachter rijdend voertuig lastig;
2. de beschikbare lengte is te klein.

Dit voorrangsprobleem wordt vermeden als de markering en strookindeling spiraalvormig is in plaats van concentrisch en zodoende worden de snij-ongevallen van conventionele concentrische meerstrooksrotondes vermeden.

De stroken op de rotonde zijn gescheiden door verhoogde rijbaanscheidingen, zodat er op de rotonde zelf niet meer van strook wordt gewisseld, en er geen weefconflicten zijn. Het aantal stroken waaraan voorrang moet worden verleend is maximaal 2. In de US past men ontwerpen toe waarop twee rijstroken overgestoken moeten worden maar waar aan drie rijstroken voorrang moet worden verleend. Omdat het voertuig zich op de juiste strook bevindt, treden er ook geen conflicten meer op bij het verlaten van de rotonde (snijconflicten). Deze vormgeving en eisen zorgen ervoor dat het aantal conflicten wordt verminderd in vergelijking met een concentrische meerstrooksrotonde (Fortuijn, 2013) (Dijkstra, 2014). In Figuur 1 zijn de conflictpunten aangegeven tussen een vergelijkbare concentrische meerstrooksrotonde en een turborotonde. In Figuur 2 wordt een voorbeeld van een verhoogde rijbaanscheiding gegeven. Omdat op een correcte manier moet worden voorgesorteerd voor de juiste rotondestrook, spelen strookwegwijzers een belangrijke rol, zoals te zien is in Figuur 3.

De vormgeving van de turborotonde hangt sterk samen met de verkeersvraag op de verschillende richtingen, wat (de verdeling van) het aantal stroken bepaalt. In Figuur 4 zijn enkele voorbeelden te zien.

Ondanks dat de turborotondes deze verschillende ontwerpvarianten kennen, is het voor de bestuurders via nieuw ontwikkelde symbolen op de bewegwijzering en wegmarkering duidelijk wat van hen wordt verwacht: het tijdig kiezen van de juiste strook. Op de turborotonde zelf hoeft alleen de strook gevolgd te worden, wat het comfort verhoogt. Het aantal verkeersbewegingen is beperkt en het maakt het gedrag van de automobilisten goed voorspelbaar op de rotonde zelf, wat aanbevolen wordt volgens het Duurzaam Veilig-principe (Fortuijn, 2013) (CROW, 2024). De capaciteit van een turborotonde ligt net iets hoger dan die van een vergelijkbare meerstrooksrotonde (CROW, 2024).



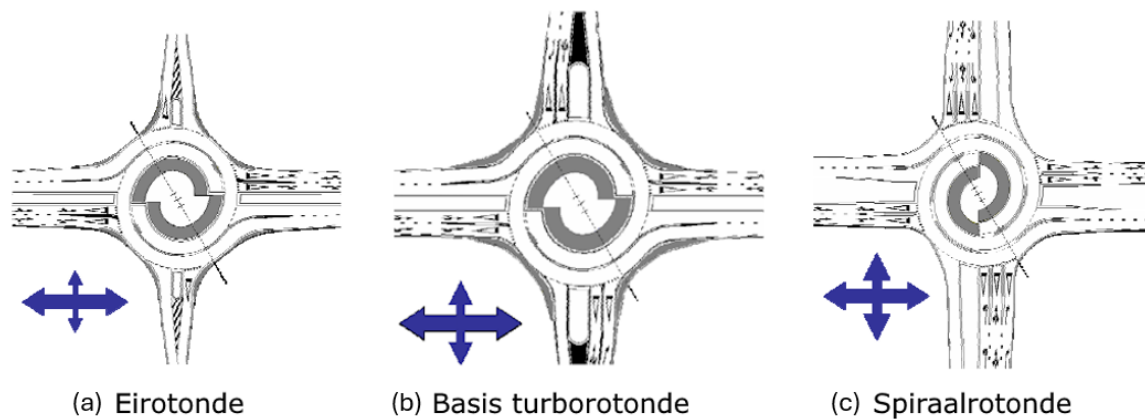
Figuur 1 Het aantal conflicten vergeleken voor een concentrische tweestrooksrotonde en een turborotonde, beide met twee dubbelstroksafritten (naar Fortuijn, 2013)



Figuur 2 Overrijdbare rijbaanscheiding met druppelvormige start bij een turborotonde (Pijnacker) [Pijnacker - Google Maps](#),



Figuur 3 Strookwegwijzer en wegdekpijlen bij een turborotonde [N470 - Google Maps](#)



Figuur 4 Drie varianten van turborotondes, de dikte van de pijlen geven de verkeersvraag weer (Fortuijn, 2013)

1.3 Verspreiding en waardering van turborotondes, de onderzoeksvragen

Vanwege de grotere verkeersveiligheid, het hogere comfort en de iets hogere capaciteit kwamen na het eerste ontwerp spoedig meer turborotondes in Nederland. Dirk de Baan heeft in een database en op de kaart bijgehouden waar welk type turborotonde te vinden is (Baan, 2024). Omdat er inmiddels ook op veel plaatsen buiten Nederland turborotondes te vinden zijn en er wat aanpassingen zijn geweest in het ontwerp in Nederland en in het buitenland, is de volgende onderzoeksvraag opgesteld:

Hoe heeft de turborotonde zich ontwikkeld en verspreid binnen en buiten Nederland?

De turborotonde is een veilig, maar ook een complex ontwerp, waarbij de automobilist op tijd de juiste beslissing moet nemen om correct voor te sorteren, geholpen door de wegwijzers en wegdekpijlen. Als de verkeerde keuze wordt gemaakt, is het mogelijk de rijbaanscheiding te negeren, of zoals Dirk de Baan heeft opgetekend uit de mond van weggebruikers: "Waarom leggen ze dan van die randjes aan? Ik hobbel daar nu overheen." (Baan, 2024). Hoewel er dus kennelijk verkeersdeelnemers zijn die zich niet al te veel aantrekken van de markering, is de juiste bewegwijzering, markering en bebording van het grootste belang.

Een met verkeerslichten geregelde turborotonde - turboplein genoemd - is veel groter. Dan zijn extra maatregelen nodig om rijden in de verkeerde richting te voorkomen. In 2007 werden bij het geregelde turboplein bij het Doenkadeplein -toen nog geen extra rotondeschilden waren geplaatst -uit 11 uur camerawaarnemingen 0,55% (in totaal 173) foute verkeersbewegingen geregistreerd.

Omdat het aantal turborotondes binnen Nederland is toegenomen van 85 in 2007 naar 415 in 2023, is er meer gewenning van de verkeersdeelnemer en meer voorspelbaarheid in gedrag. Dit zou van invloed kunnen zijn op de waardering van turborotondes. Daarom is ook een tweede onderzoeksvraag opgesteld:

Wat is de waardering van Nederlandse automobilisten wat betreft turborotondes?

Beide onderzoeksvragen zijn door bachelorstudenten onderzocht voor hun eindwerk Civiele Techniek, bij de afdeling Transport en Planning (Röling, 2024), (Rijgwart, 2024).

2. Onderzoek naar verspreiding en ontwikkeling

2.1 Onderzoeksmethode verspreiding en ontwikkeling in vormgeving

De website <https://www.dirkdebaan.nl/turborotondes.html> (Baan, 2024) toont een statische ArcGIS-kaart met de huidige locaties van turborotondes. Om de ontwikkeling en verspreiding in de afgelopen 25 jaar in kaart te brengen, is een timelapse gemaakt, waarin de locaties en type van turborotondes als functie van de tijd worden weergegeven. Ook is nagegaan welke wijzigingen in de vormgeving van de turborotonde hebben plaatsgevonden, en in hoeverre de Nederlandse vormgeving in het buitenland is overgenomen.

Dit onderzoek is verricht met behulp van literatuuronderzoek, de database van Dirk de Baan (Baan, 2024) en de satellietbeelden van Google Maps.

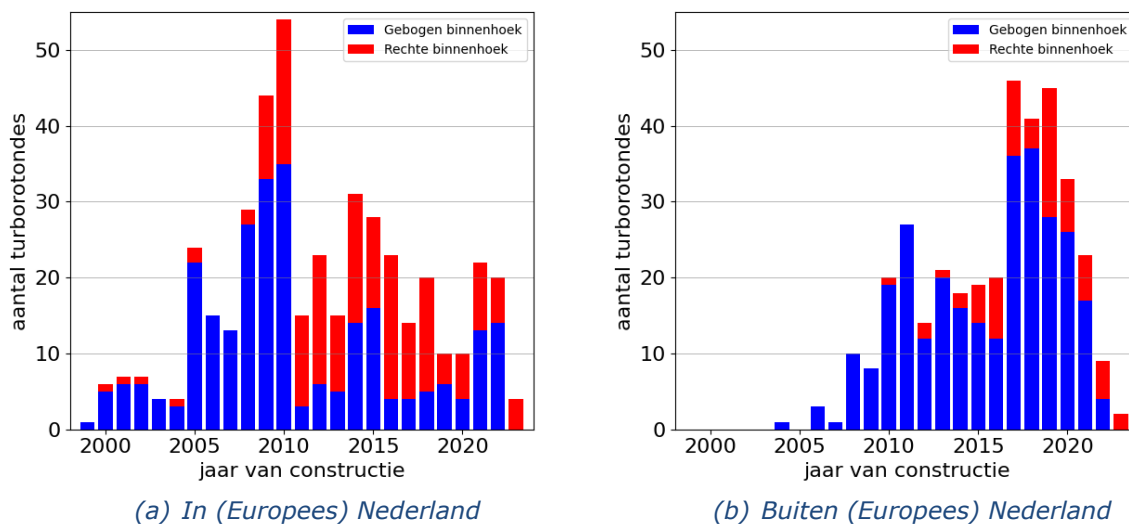
Uit de database zijn de locatie, het type turborotonde, het constructiejaar en de vorm van de binnenhoek gehaald. Met behulp van GIS zijn de turborotondes op een wereldkaart geplaatst en gebaseerd op het constructiejaar is een timelapse gegenereerd. Vervolgens zijn de ontwerpelementen van de turborotondes met de satellietbeelden van Google Maps met elkaar vergeleken, om zo een uitspraak te kunnen doen over hoe turborotondes zich in de loop van de tijd hebben ontwikkeld en welke verschillen in ontwerp er bestaan tussen diverse landen.

2.2 Resultaten verspreiding en ontwikkeling in vormgeving

De aanleg van turborotondes in (Europees) Nederland is sinds de introductie van de rotonde in 1999 gestaag toegenomen, zie Figuur 5(a). In 2010 werd een piek bereikt van 54 nieuw aangelegde turborotondes in dat jaar. Daarna begon de aanleg van de turborotondes af te nemen, tot (op het moment van het onderzoek) vier aangelegde turborotondes in 2023. In Nederlands zijn er in totaal (tot en met 2023) 415 turborotondes gerealiseerd.

In Figuur 5 zijn de aantallen turborotondes opgesplitst in twee verschillende groepen, namelijk de twee verschillende ontwerpen van de vorm van de binnenhoek, één van de opvallende ontwikkelingen in de vormgeving van de turborotonde.

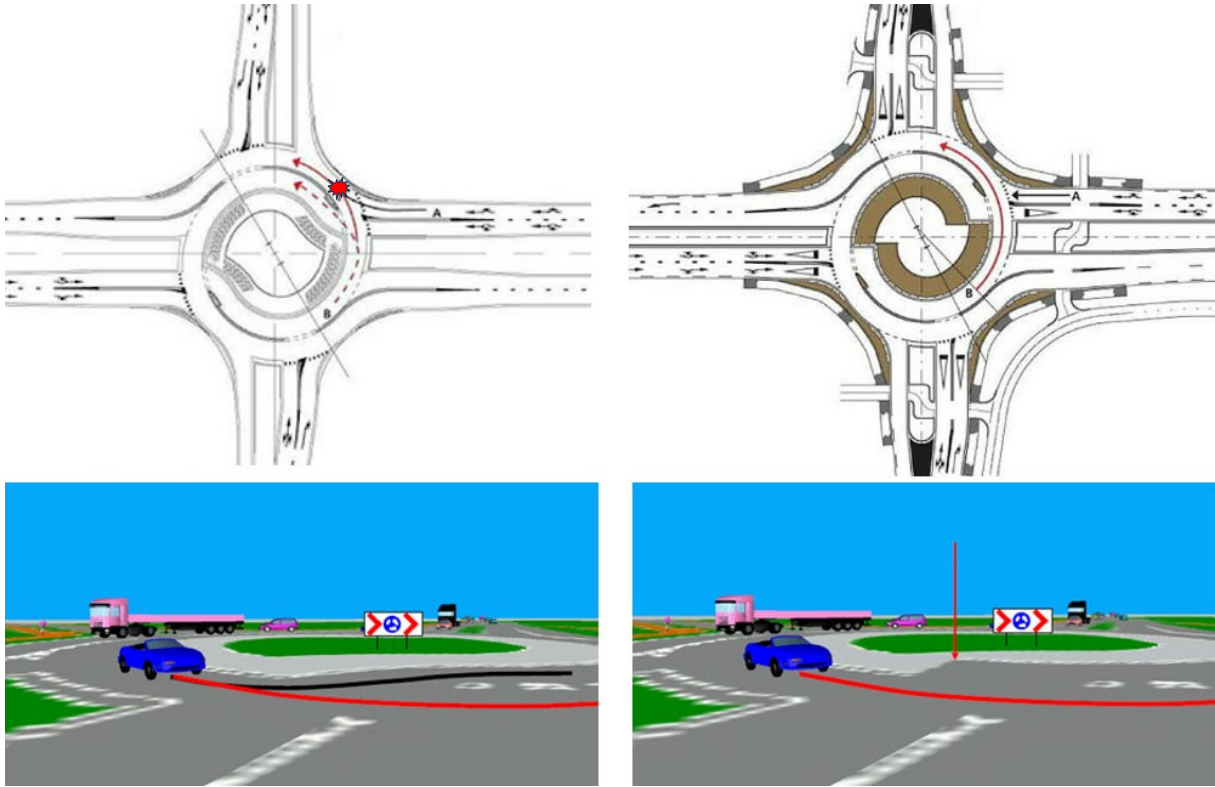
De turborotonde werd aanvankelijk met een vloeiend verlopende binnenhoek ontworpen (CROW, 2024). Uit een gesprek met een politieman die proces verbaal moest opmaken van een voorrangsongeval bleek, dat voor een automobilist vanaf de rechter rijstrook van de zijtak het niet zonder meer duidelijk is dat de rotondestrook via de buitenste doorloopt. Figuur 6 verduidelijkt dit, waarbij de zwarte lijn het misverstand in perceptie van de automobilist op de zijtak weergeeft (als de naderende blauwe auto daadwerkelijk via de binnenste rotondestrook zijn weg vervolgt, is dat in beide ontwerpen geen probleem). Hoewel sinds 2009 het aantal turborotondes met haakse binnenhoek relatief is toegenomen, zijn er na die tijd nog steeds turborotondes opgeleverd met vloeiend verlopende binnenhoeken.



Figuur 5 Aantal geconstrueerde turborotondes per jaar

In Figuur 5(b) is het aantal geconstrueerde turborotondes per jaar buiten (Europees) Nederland zichtbaar, eind 2023 waren er wereldwijd in totaal 777. Bij buitenlandse turborotondes is de vloeiend verlopende binnenhoek (nog) meer populair dan in Nederland. De timelapse van de verspreiding binnen Europa kan gevonden worden via de link <https://jumpshare.com/v/vvHenUwGC22YhUnaAzCB> (Rijswart, 2024). De laatste timeframe van deze timelapse (2023) zichtbaar in Figuur 7. De eerste turborotonde buiten Nederland werd in Duitsland aangelegd. Uit Figuur 7 blijkt dat vooral Oost-Europa, met name Polen (116) en Hongarije (43), het concept hebben omarmd. Dit kan grotendeels worden toegeschreven aan EU-programma's die de veiligheid op wegen helpen vergroten door de aanleg van innovatieve wegontwerpen, zoals turborotondes, te financieren.

Locaties van turborotondes buiten het Europese continent zijn te vinden in Aruba, de Verenigde Staten, Canada, Ethiopië en Zuid-Afrika. In Tsjechië, Polen, Slovenië, Duitsland, Servië en Kroatië bestaan er formele richtlijnen voor het ontwerp van turborotondes (FHWA, 2024).



(a) Vloeiend verloop binnenhoek

(b) Haakse binnenhoek

Figuur 6 Zicht op de binnenhoek van de binnenste rotondestrook vanaf de rechterstrook van de zijtak (CROW, 2024)



Figuur 7 Verspreiding van de turborotonde binnen Europa in 2023
<https://jumpshare.com/v/vvHenUwGC22YhUnaAzCB>

Naast de vorm van de binnenhoek zijn er ook op ander punten variaties. Soms hangen die samen met de beschikbare ruimte, maar veelal ook met andere voorkeuren in ontwerptechniek. Dat laatste is het duidelijkst te zien in andere landen die het concept overnamen. Enkele van deze elementen zijn:

- De totale diameter van de rotonde, waarbij bijvoorbeeld Duitsland kiest voor grotere afmetingen.
- Het ontwerp en gebruik van verhoogde rijstrookafscheidings, waarbij sommige landen ze meer geschikt maken voor winterweer of de vorm veranderen van rechthoekig naar bolvormig. Andere landen besluiten geen verhoging te gebruiken en in plaats daarvan kiezen voor geschilderde lijnen, bijvoorbeeld Duitsland (FHWA, 2024).
- Het gebruik van druppels aan het begin van de verhoogde rijstrookafscheidings (zie Figuur 2), waarbij landen de afmetingen en het algehele uiterlijk van dit element enigszins hebben aangepast.

2.3 Conclusies verspreiding en ontwikkeling in vormgeving

Het onderzoek had tot doel de ontwikkeling en wereldwijde verspreiding van turborotondes te bestuderen, met aandacht voor hun specifieke kenmerken, geografische verspreiding en evolutie van het ontwerp. Turborotondes moeten voldoen aan vier basiscriteria, waaronder specifieke rijstrookvereisten en de eliminatie van weven, met bijkomende niet-verplichte vereisten voor verschillende types. Deze rotondes zijn vooral te vinden in Nederland, maar hebben zich ook sterk verspreid naar Oost-Europa en de Verenigde Staten, met opmerkelijke variaties in het ontwerp van elementen zoals binnenhoeken, totale straal en rijbaanafscheidings naarmate ze zich aanpassen aan de behoeften van de verschillende landen.

3. Onderzoek naar de waardering van turborotondes

3.1 Onderzoeksmethode naar de waardering van turborotondes

Het onderzoek van (Röling, 2024) is breder dan alleen turborotondes, maar hier wordt alleen het deel aangaande ongeregelde turborotondes besproken.

Om te onderzoeken wat de mening van de hedendaagse verkeersdeelnemer is over turborotondes, is literatuuronderzoek gedaan en is een enquête uitgezet. Deze Google Forms-enquête is verspreid via sociale media, aan de enquête kon alleen worden deelgenomen indien de respondent in het bezit was van een rijbewijs. Er werden demografische vragen gesteld (geslacht, leeftijd, opleiding, rijervaring, frequentie van autorijden en ongevalhistorie op rotondes). De vragen werden gesteld met foto's van bestaande basis turborotondes (Figuur 4b). De vragen relateerden aan het gevoel van veiligheid, efficiëntie en complexiteit van turborotondes, en de duidelijkheid van de bewegwijzering. De respondenten konden via een Likert-schaal met vijf mogelijkheden hun voorkeur voor het antwoord aangeven (Bhandari & Nikolopoulou, 2020).

Met behulp van statistische toetsen, de t-toets en de one-way ANOVA (van Heijst, 2024), werden de volgende hypothesen getoetst:

1. Er is geen verschil tussen leeftijdsgroepen in hun perceptie van de efficiëntie van turborotondes.
2. Er is geen verschil tussen leeftijdsgroepen wat betreft de ervaren veiligheid van de turborotonde.
3. Er is geen verschil van mening tussen leeftijdsgroepen over de duidelijkheid van de bewegwijzering.
4. Bestuurders die eerder een ongeluk hebben gehad op een turborotonde zijn niet bang om een ongeluk te veroorzaken.
5. Er is geen verschil tussen groepen met verschillende rijervaring en de frequentie van het wisselen van rijstrook in de afgelopen 12 maanden vlak voor of op de turborotonde.
6. De frequentie van het autogebruik heeft geen invloed op de perceptie van de efficiëntie van turborotondes.

Door het accepteren dan wel verwerpen van bovenstaande hypothesen is er een conclusie getrokken over de waardering van turborotondes voor verschillende groepen autobestuurders. Voor de toetsen wordt aangenomen dat er geen statistisch verschil is (hypothese wordt aanvaard) als de p-waarde (die kan variëren tussen 0 en 1) kleiner is dan 0,05 (van Heijst, 2024).

3.2 Resultaten van de waardering van turborotondes

De enquête over de ervaring met rotondes werd ingevuld door 211 respondenten, waarvan er 14 aangegeven hadden nooit op een turborotonde te hebben gereden; hun antwoorden zijn verwijderd. Van de 197 respondenten waren 106 man, 105 vrouw. De verdeling over de leeftijdscategorieën 17-29: 37%, 30-45: 14%, 45-59: 34%, 60+: 15%.

Op een Likert-schaal van 1-5 (1= niet, 5= zeer) konden de respondenten aangeven hoe efficiënt, duidelijkheid van bebording en wegmarkering, en veilig de rotonde werd ervaren.

- De deelnemers vinden turborotondes gemiddeld tot redelijk efficiënt (gemiddelde $\mu=3,69\pm 1,09$, mediaan $M=4$).
- De veiligheidsbeoordeling is redelijk veilig ($\mu=3,76\pm 1,00$, $M=3$).
- Het voorsorteren is duidelijk ($\mu=4,12\pm 1,00$, $M=4$), hoewel dit wel verschilt over de leeftijdsgroepen (17-29: $\mu=4,36$, 60+: $\mu=3,59$)
- Hoe de voorsorteerstrook relateert tot de rotondestrook is redelijk duidelijk ($\mu=3,46\pm 1,28$, $M=4$).
- Men staat neutraal tegenover de duidelijkheid van de bewegwijzering ($\mu=3,08\pm 1,14$, $M=3$). De standaarddeviatie voor bewegwijzering ligt hoger dan voor efficiëntie en veiligheid, dus er is een grotere spreiding in de mening over hoe duidelijk de bewegwijzering is, maar dit blijkt niet leeftijdsafhankelijk (zie hypothese 3). Dit kan ermee samenhangen dat niet overal de bewegwijzering correct wordt toegepast volgens de richtlijnen.

De resultaten wat betreft de hypothesen:

1. Wordt verworpen; volgens de ANOVA-test is er wat betreft de perceptie van de efficiëntie van de turborotonde een significant verschil tussen de diverse leeftijdsgroepen, als 60+ wordt vergeleken met 17-29 jaar ($p=0,015$) of 45-59 jaar ($p=0,032$).
2. Wordt aanvaard; volgens de ANOVA-test is er geen statistisch verschil tussen de leeftijdsgroepen wat betreft de stress bij een turborotonde ($p=0,082$).
3. Wordt aanvaard; volgens de ANOVA-test is er geen statistisch verschil tussen de leeftijdsgroepen wat betreft de duidelijkheid van de bewegwijzering ($p= 0,796$).
4. Wordt aanvaard; volgens de t-toets is er geen statistisch verband tussen een eerder een ongeluk hebben gehad en de angst om een ongeluk te veroorzaken ($p=0,617$).
5. Wordt aanvaard; volgens de ANOVA-test is er geen significant verschil tussen de rijervaring en rijfrequentie en het wisselen van strook vlak voor ($p=0,710$) of op ($p=0,615$) de turborotonde.
6. Wordt aanvaard; volgens de ANOVA-test is er geen statistisch verband tussen de perceptie van de efficiëntie van de turborotonde en de frequentie van autogebruik ($p=0,883$).

3.3 Conclusies over de waardering van turborotondes

Turborotondes, ontworpen om de verkeersdoorstroming te verbeteren en het aantal ongevallen te verminderen, worden over het algemeen als efficiënt ervaren, zonder significant verschil in de perceptie van de efficiëntie op basis van de gebruiksfrequentie van de auto. Oudere bestuurders vinden rotondes echter minder efficiënt dan jongere bestuurders (Dam, 2022). Autobestuurders zijn over het algemeen neutraal over de duidelijkheid van verkeersborden en wegmarkeringen op en voor rotondes, dit geldt voor alle leeftijdscategorieën. Oudere bestuurders vinden het veel minder duidelijk dan jongere bestuurders welke vervolgrichting overeenkomt met welke rijstrook op de standaard turborotonde, en op welke rijstrook ze moeten voorsorteren, hetgeen waarschijnlijk samenhangt met de reden dat oudere bestuurders meer tijd nodig hebben om informatie van wegwijzers en wegdekpijlen te verwerken. Dit kan optreden als de beschikbare afstand tussen deze informatie en handeling te kort is, korter dan 180 m, en daarmee ook de tijd om deze informatie te verwerken te kort is (Fortuijn, 2013). Er is geen verschil tussen groepen met variatie in rijervaring en de frequentie van rijstrookwisselingen op of vlak voor de turborotonde.

De conclusie is, dat 25 jaar nadat de eerste turborotonde werd geïntroduceerd, de turborotonde redelijk goed wordt begrepen en gewaardeerd, maar dat de leeftijd van de autobestuurders invloed heeft.

4. Verdere verspreiding van de turborotonde en waardering vanuit de Verenigde staten

Buiten het Europese continent is vooral in de Verenigde staten de rotonde, en ook de turborotonde, bezig met een opmars (Dam, 2022). In 2023 heeft de Federal Highway Administration een bezoek gebracht aan diverse landen, waaronder Tsjechië, Nederland en Polen, en daarover gerapporteerd (FHWA, 2024). Het doel was te leren van internationale ervaringen met de turborotonde. In Nederland zijn verschillende turborotondes (per fiets) bezocht om het ontwerp van dichtbij te bekijken en te ervaren als fietsers.

In de VS komt de turborotonde al regelmatig voor in ontwerprichtlijnen, maar zoals eerder genoemd zijn er uitdagingen om de turborotonde aan te passen aan het gebruikelijke ontwerp ter plaatse. Voor de VS zijn de volgende ontwerpissues van belang:

- De aansluitingen: in de VS zijn tangentiële aansluitingen gebruikelijk, terwijl in Nederland radiale aansluitingen worden gebruikt. Radiale aansluitingen zorgen voor een grotere afremming van het verkeer, hetgeen de veiligheid ten goede komt.
- De verhoogde rijbaanscheidingen zijn slecht of niet waar te nemen als er sneeuw geruimd moet worden. De aanbeveling is de verhoging zo vorm te geven dat een sneeuwruimer er overheen kan vegen zonder de rijbaanscheiding te beschadigen.
- Het passeren van grote voertuigen; de vormgeving van trucks verschilt met die van Nederlandse vrachtwagens, dus de vraag is of de vormgeving van de rammelstroken rond het middeneiland en bij de aansluitingen voldoet.

Eén van de conclusies van de FHWA is dat het gebruikelijk is om bestaande concentrische meerstrooksrotondes om te bouwen naar turborotondes. De vorm van de rijstroken wordt daarbij aangepast, verhoogde rijbaanscheidingen, wegdekpijlen en voorsorteervakken op de aanvoertakken moeten worden aangebracht. Dit zijn redelijk goedkope aanpassingen, maar leiden wel tot efficiëntere rotondes met minder conflictpunten, en wordt daarom aanbevolen voor meerstrooksrotondes in de VS.

5. Slotconclusie

Er worden in Nederland ook wel eens turborotondes weer omgebouwd tot geregelde kruisingen (bijvoorbeeld Laan van Ruyven/N470 met veel vrachtverkeer, vergelijk in Google Streetview [maart 2019](#) met [september 2022](#)), meestal vanwege gewijzigde verkeerssituatie ter plaatse. Er wordt niet altijd gekeken of een aanpassing van de turborotonde (al dan niet aangevuld met een rotonde-doseerinstallatie (RDI), die op een turborotonde ook capaciteitsverhogend werkt) een optie is, en een geregelde kruising is dan een eenvoudige oplossing. Desondanks kan worden geconcludeerd dat de turborotonde 28 jaar nadat de eerste schets op papier is gezet en 25 jaar nadat het eerste ontwerp op straat kwam, zich nog steeds ontwikkelt en verspreidt, en wordt gewaardeerd. De turborotonde is een veilige, effectieve en (voor automobilisten jonger dan 60 jaar) begrijpelijke meerstrooksrotonde, geschikt voor Nederland en daarbuiten.

Bibliografie

- Baan, D. d., 2024. *Verkeer | Verkeersveiligheid | Vorm*. [Online]
Available at: <https://www.dirkdebaan.nl/turborotondes.html> [Geopend 10 7 2024].
- Bhandari, P. & Nikolopoulou, K., 2020. *What Is a Likert Scale? | Guide & Examples*. [Online]
Available at: <https://www.scribbr.com/methodology/likert-scale/> [Geopend 18 7 2024].
- CROW, 2024. *Kennisbank CROW, Turborotondes*. [Online]
Available at: <https://kennisbank.crow.nl/kennismodule#8258> [Geopend 10 7 2024].
- Dam, A. V., 2022. *The rise of the roundabout and which state has the most*. [Online]
Available at: <https://www.washingtonpost.com/business/2022/11/25/roundabout-revolution-traffic-circles/> [Geopend 19 7 2024].
- De Bont, F., 2022. Over de turborotonde rijdt het veiliger – als je eraan gewend bent. *NRC*, 30 8.
- Dijkstra, A., 2014. *Enkele aspecten van kruispuntveiligheid.*, Den Haag: SWOV.
- FHWA, 2024. *Turbo Roundabouts: A Review of Practices in the Czech Republic, the Netherlands, and Poland*, Cambridge, USA: US Department of Transportation, FHWA.
- Fortuijn, L.G.H., 2013. *Turborotonde en turboplein: ontwerp, capaciteit en veiligheid*. Proefschrift, Delft: Technische Universiteit Delft.
- Rijgwart, G., 2024. *The Worldwide Distribution and Design of Turbo-roundabouts*, Delft: Technische Universiteit Delft.
- Rijgwart, G., 2024. *turbo_roundabout_map_animated*. [Online]
Available at: <https://jumpshare.com/v/vvHenUwGC22YhUnaAzCB> [Geopend 19 7 2024].
- Röling, B., 2024. *Appreciation of Roundabouts by Car Drivers*, Delft: Technische Universiteit, Delft.
- van Heijst, L., 2024. *ANOVA Uitvoeren en Interpreteren.*. [Online]
Available at: <https://www.scribbr.nl/statistiek/anova/> [Geopend 5 9 2024].