

Vrouwelijk ontwerpen

Theo Zeegers, verkeersconsulent Fietsersbond

Inleiding

Konijnen zijn opmerkelijke dieren. Zij kunnen in vol galop haakse bochten maken, om zodoende aan eventuele belagers te ontkomen. Fietsers zijn geen konijnen, haakse bochten kan een mens niet fietsen. Vandaar dat fietsinfrastructuur voldoende afgerond ontworpen moet zijn (figuur 1). In dit verkeersplein ga ik in op het belang hiervan en geef ik criteria hoe het zou moeten. Ik noem dit vrouwelijk ontwerpen. Dat heeft niks met hersenhelften te maken: als verkeerskundige wil ik meer rondingen zien op straat.



Figuur 1: Haakse hoek op kruispunt van twee fietspaden. Zo moet het dus niet.

Dynamica van het bochten fietsen

Zoals jullie weten, helt iedere fietser met zijn lichaam naar binnen als hij een bocht fietst¹. Zou de fietser dat niet doen, dan zou hij door de centrifugale (schijn-)kracht van zijn fiets af naar buiten geslingerd worden. De sterkte van de centrifugale (schijn-)kracht wordt bepaald door de gefietste snelheid en de scherpte van de bocht, in vaktermen de boogstraal^{2,3}. Het tegenwicht wordt geboden door de zwaartekracht en de hoek waarin de fietser hangt, de zogenaamde 'leunhoek'. Een fietser blijft in de bocht in balans als aan de volgende relatie tussen snelheid, boogstraal en leunhoek voldaan wordt:

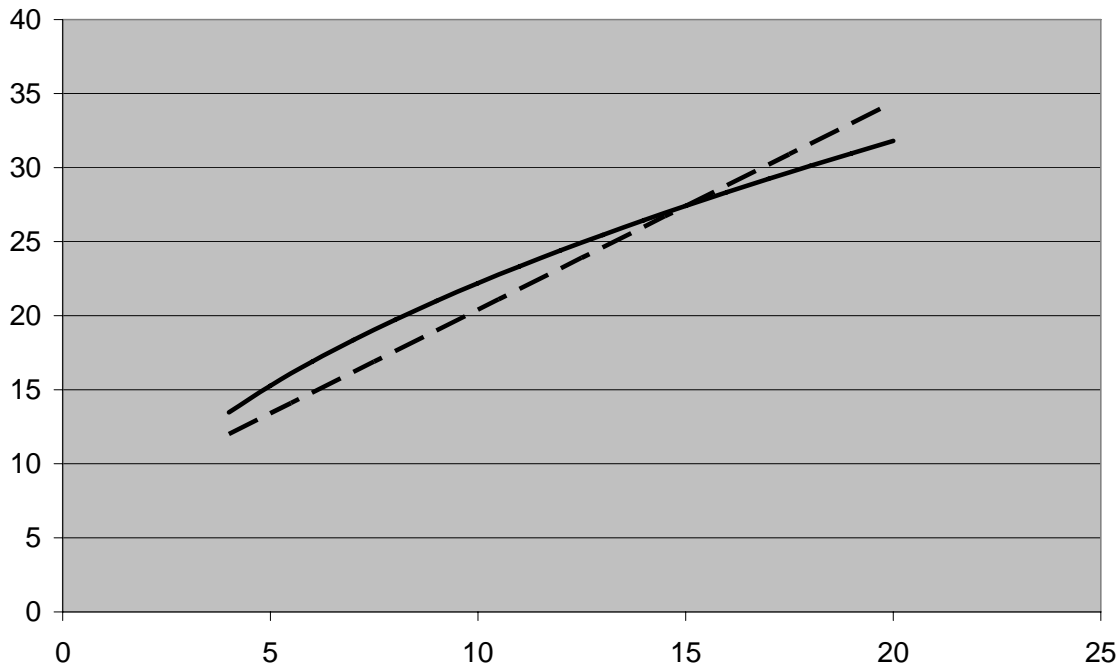
$$\text{Snelheid-in-het-kwadraat} = \text{valversnelling} * \text{boogstraal} * \text{tangens(leunhoek)} \quad (1)^4$$

Wat hier uit blijkt is dat een fietser voor hogere snelheden grotere (= ruimere) boogstralen nodig heeft en/of schever de bocht door moet. Aan dat laatste zit een fysieke beperking: te scheef de bocht door kan niet omdat dan je wiel zijdelings gaat slippen. Onder ideale omstandigheden is een leunhoek van 45 graden nog mogelijk⁵. In de praktijk zijn veel situaties verre van ideaal, zowel vanwege de verharding als vanwege het weer (nat, glad). FSC-2000⁶ geeft een minimale eis voor de stroefheid, waaruit een maximale veilige leunhoek van 23 graden volgt (figuur 2). Ervaren fietsers zullen deze leunhoek niet (willen) overschrijden.



Figuur 2: Zelfs bij lage snelheden weten fietsers een leunhoek van 20 graden en meer te realiseren. Merk op dat deze fietser de bocht niet gaat halen en op de foute wegheeft uitkomt.

Op grond hiervan kan met (1) de maximale snelheid berekend worden waarmee een bocht nog genomen kan worden, het resultaat staat in figuur 3. In die grafiek staat ook een relatie die de CROW in eerder onderzoek gevonden heeft⁷. De gelijkenis tussen beide figuren is evident⁸. De relatie van de CROW is lineair en daarmee in gebruik wat eenvoudiger.



Figuur 3: verband tussen boogstraal (m) en rijnsnelheid (km/h). Doorgetrokken lijn: Theoretisch maximale snelheid bij wrijvingscoëfficiënt volgens FSC-2000. Gestippeld: waargenomen relatie volgens Ontwerpwijzer Fietsverkeer.

Gevolgen van deze lessen

Om de goede conclusies uit deze natuurkunde te trekken, gaan we grafiek 1 'achterstevoren' lezen: we beginnen bij de snelheid en lezen vervolgens af hoe krap bochten in de fietsinfrastructuur mogen zijn.

-1) Stabiliteit

De stabiliteit van de fietser wordt slechter als de snelheid onder de 12 km/h komt. Uit de grafiek lezen we af dat hier een boogstraal van 4 meter bij hoort.

Conclusie:

Boogstralen krappert dan 4 meter zijn altijd taboe, omdat de fietser dan zo langzaam moet fietsen dat hij omvalt

-2) Ontwerpsnelheid

De ontwerpsnelheid voor hoofdfietsroutes is 30 km/h en voor overige fietsverbindingen 20 km/h. Natuurlijk is dit de ontwerpsnelheid voor wegvakken. Bijbehorende boogstralen zijn respectievelijk 10 meter en 17,5 meter.

Conclusie

Op hoofdfietsverbindingen zijn op wegvakken boogstralen niet krappert dan 17,5 meter, op overige fietsverbindingen niet krappert dan 10 meter.

Ideale lijn

In de praktijk zullen fietsers ook de breedte van het fietspad gebruiken om via de ideale lijn de boogstralen zo laag mogelijk te houden. Bij een bocht rechtsaf betekent dat links op het fietspad beginnen, midden in de bocht rechts rijden en weer links uitkomen. Op die manier fietsen we toch nog om haakse stoepanden heen (figuur 1, 2). Elementaire geometrische berekeningen leren dat in het geval van haakse hoeken van eenrichtingsfietspaden het volgende verband geldt tussen de gereden boogstraal⁹, de breedte van het fietspad en de schuwafstand ten opzichte van een stoepand

$$\begin{aligned}\text{Boogstraal} &= 3,4 * \text{breedte fietspad} - 5,8 \text{ schuwafstand}^{10} - 0,5 \text{ meter}^{11} \\ &= 3,4 * \text{breedte fietspad} - 2 \text{ meter}\end{aligned}$$

Haakse bochten van fietspaden smaller dan 1,75 meter zijn dus onfietsbaar (want boogstraal krupper dan 4 meter). Ronden we de binnenbocht volgens vrouwelijk ontwerpen af, dan neemt de boogstraal voor de fiets één op één toe met de boogstraal van de binnenbocht. Het toepassen van een minimale binnenbogen conform ASVV 2004¹² leidt dus tot een zeer aanzienlijke verbetering

$$\text{Boogstraal} = 3,4 * \text{breedte fietspad} + \text{ongeveer } 2 \text{ meter.}$$

In het voorbeeld van het fietspad van 1,75 meter wordt dat 8 meter. Waar zonder binnenbochtafronding een dergelijke haakse bocht net wel/niet meer te fietsen was, kan ik nu ineens met een comfortabele snelheid van 18 km/h de bocht door ! Ziedaar het wonder van vrouwelijk ontwerpen.

Voor tweerichtingsfietspaden geldt, als we er van uit gaan dat het niet de bedoeling is dat de middenas overschreden wordt, het volgende verband

$$\text{Boogstraal} = 1,7 * \text{breedte fietspad} - 2,8 \text{ meter.}$$

Dit resultaat is dus nog veel ongunstiger: zelfs bij een fietspad van 4 meter breed kan ik niet een haakse bocht nemen zonder op de verkeerde weghelft te komen (figuur 2) of een stoepand te scheppen. Toepassen van een binnenbocht met boogstraal 4 a 5 meter heeft hetzelfde effect als bij het enkelstrooksfietspad.

Appendix

Om de geïnteresseerde lezer meer informatie te geven, volgt hier het algemene verband tussen gereden boogstraal R en breedte van het fietspad B voor eenrichtingsfietspaden

$$R^* = \rho + (2 + \sqrt{2}) \cdot (B - \delta_1) - (\sqrt{2} + 1) \cdot \delta_2 \quad (2)$$

waarin (alles in meters)

- R* = gereden boogstraal (band)
- B = breedte fietspad
- δ_1 = schuwafstand op rechte stuk tov. trottoir
- δ_2 = schuwafstand in bocht tov. trottoir
- ρ = boogstraal afronding binnenbocht

Vanwege het leunen maakt het massamiddelpunt van de fietser een krappere boog R*:

$$R = R^* - \text{hoogte zwaartepunt} * \sin(\text{leunhoek}) \quad (3a)$$

$$= R^* - 0,5 \text{ meter} \quad (3b)$$

Op soortgelijke manier geldt voor tweerichtingsfietspaden, in het meest kritieke geval dat we eisen dat de middenas niet overschreden wordt, voor de gereden boogstraal R

$$R^* = \rho + (2 + \sqrt{2}) \cdot (B/2 - \delta_1 - 0,375) - (\sqrt{2} + 1) \cdot \delta_2 \quad (4)$$

Waarin δ_1 ditmaal de schuwafstand ten opzichte van een tegemoetkomende fietser is. Ook hier moet weer 0,5 meter afgetrokken worden om de boogstraal van de baan van het zwaartepunt te krijgen.

In geval van een kruispunt van 2 fietspaden met verschillende breedtes B_1 en B_2 geldt in plaats van (2) het volgende resultaat

$$R^* = \rho + 2 \cdot (\bar{B} - \delta_1) - \delta_2 + \sqrt{2 \cdot (\bar{B} - \delta_1 - \delta_2)^2 - \frac{1}{2} \cdot (\delta B)^2} \quad (5)$$

in which

$$\bar{B} = \frac{(B_1 + B_2)}{2} \quad (6a)$$

and

$$\delta B = B_1 - B_2 \quad (6b)$$

Eindnoten

¹ Dit artikel beperkt zich nadrukkelijk tot fietsen op 2 wielen. Voor fietsen op meer wielen (bakfiets, quest) is de dynamica van bochten wezenlijk anders.

² De boogstraal is de straal van de denkbeeldige cirkel met dezelfde kromming als het wegvak zelf.

³ Heel precies betreft het hier de boogstraal van de baan van het zwaartepunt van de fietser. Omdat de fietser naar binnen leunt, is de boogstraal van de baan van zijn banden groter, om precies te zijn hoogte van het zwaartepunt * sinus (leunhoek) groter. Het verschil is voor rechtop-fietsers ongeveer een halve meter.

⁴ Pas op met je eenheden. Als je valversnelling = 9,8 neemt en de boogstraal in meters, dan krijg je de snelheid in m/s. Snelheid in k/h is hieruit te berekenen door met 3,6 te vermenigvuldigen.

⁵ De tangens is dan 1.

⁶ Stroefheid van (weg)verhardingen, CROW 247, pag. 44, geeft 0,44 voor rubber op asfalt.

⁷ Ontwerpwijzer Fietsverkeer, fig 8, pag. 49.

⁸ De verschillen bij krappe boogstralen en lage snelheden zijn begrijpelijk. Bij krappe boogstralen verandert de boogstraal van de rijcurve noodzakelijk snel, waardoor de fietser niet de tijd heeft de maximaal mogelijk leunhoek ook daadwerkelijk te bereiken.

⁹ Hier is er weer van uitgegaan, dat de boogstraal van het zwaartepunt 0,5 m. krappert is dan de boogstraal van de gereden curve, ivm. de leunhoek.

¹⁰ Volgens Ontwerpwijzer Fietsverkeer 0,25 m. op wegvakken. Lijkt me in bochten groter.

¹¹ De exacte formule staat in de appendix

¹² Meestal 5 meter, soms 4 meter