

ONGERUBRICEERD

TNO-rapport TNO-DV 2011 C075

Beoordeling Ongevalslocatie Honingerdijk

**Behavioural and Societal
Sciences**

Kampweg 5
3769 DE Soesterberg
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

www.tno.nl

T +31 88 866 15 00

F +31 34 635 39 77

infodesk@tno.nl

Datum	maart 2011
Auteur(s)	dr. M. de Goede J. Kostense dr.ir. A.R.A. van der Horst
Exemplaarnummer	
Oplage	11
Aantal pagina's	27
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Gemeente Rotterdam, Ingenieursbureau Gemeentewerken
Projectnaam	Analyse Honingerdijk – Rotterdam
Projectnummer	057.01049

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2011TNO

ONGERUBRICEERD

Samenvatting

Begin 2009 bleek dat er op één rijbaan van de Honingerdijk in Rotterdam (de noordelijke rijbaan richting centrum) een disproportioneel aantal eenzijdige verkeersongevallen met personenauto's plaatsvond. Vervolgens is een aantal maatregelen ingesteld om het aantal ongevallen en de gevolgen van ongevallen te reduceren. Deze ingrepen zijn echter beschouwd als noodmaatregelen in afwachting van een definitieve oplossing op basis van een integrale probleemanalyse. In januari 2011 heeft de gemeente Rotterdam TNO verzocht om met betrekking tot de eenzijdige ongevallen een probleemanalyse uit te voeren en advies uit te brengen voor een eventuele oplossing en/of noodzakelijk aanvullend onderzoek. Dit rapport doet daar verslag van.

Op basis van dit onderzoek, bestaande uit een weginsectie, wegbeeldanalyse en de bestudering van beschikbaar materiaal is gebleken dat de eenzijdige ongevallen op de Honingerdijk vooral plaatsvinden door het slippen op nat wegdek. De weginsectie in combinatie met beschikbare kennis en informatie over het risico op slippen bij bepaalde wegeigenschappen heeft laten zien dat met name de gladheid van de rails bij een nat wegdek, in combinatie met de aanwezige wegverkanting en gereden snelheden, met een aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid hebben geleid tot de slip incidenten. De wegbeeldanalyse laat zien dat de inrichting van de noordelijke rijbaan ter hoogte van de bocht aanleiding geeft tot normaal rijgedrag van automobilisten waarbij de tramrails bij het nemen van de bocht bereden of gekruist wordt. Bij nat wegdek kan dit vooral voor kleine en middelgrote personenauto's gemakkelijk slippen tot gevolg hebben.

Op basis van deze kennis worden een aantal verbetermaatregelen voorgesteld, waarvan de belangrijkste zijn:

- Het naar rechts verleggen van de asmarkering in de bocht van de noordelijke rijbaan vlak naast de tramrails richting centrum. Door deze ook beter zichtbaar en fysiek dwingender te maken (bijvoorbeeld schuine trottoirband of 'broodjes') moeten de weggebruikers hun wegpositie in de bocht meer naar rechts verplaatsen, zodat het risico op het rijden over of het kruisen van de tramrails aanzienlijk wordt verkleind. Dit vergt wel een nadere oplossing voor de interactie met fietsers (herinrichting aan de rechter kant van de rijbaan of fietsers onderlangs de Honingerdijk).
- Het plaatsen van borden verplichte snelheid van 30 A1 met onderbord 'bij nat wegdek' gecombineerd met bord J20 slipgevaar in plaats van borden met adviessnelheden. Bovenstaande borden-combinaties dienen op iets ruimere afstand vóór de bocht (en niet ín de bocht) geplaatst te worden, zodat bestuurders tijdig kunnen anticiperen.
- Het verwijderen van het aanwezige schrikweg, dat ervoor kan zorgen dat automobilisten meer naar links (weg van het object) gaan rijden in de bocht.

Summary

In 2009 a disproportional number of single-vehicle accidents turned out to occur on one carriageway of the Honingerdijk in Rotterdam (in the direction of the city centre). Consequently, a number of measures have been implemented in order to reduce the number and severity of these accidents. These measures, however, should be considered as emergency measures, pending a final solution based on an integrated and complete analysis of the problem. In January 2011 the city of Rotterdam has commissioned TNO to perform an analysis of the concerning accident location and to recommend possible solutions or complementary research activities. The results are given in this report.

Based on this research, including a road inspection, a road scene analysis and an inspection of the provided materials, it can be concluded that the single-vehicle accidents on the Honingerdijk are mainly caused by slipping in case of a wet road-surface. Road inspection in combination with existing knowledge on slipping risks revealed that the slipperiness of the present rail track in combination with the road super elevation and driving speeds, are most probably the principal cause of the great number of slipping accidents. The road scene analysis reveals that the geometric lay-out of the northern carriageway at the curve location evokes regular driving behaviour and trajectories at which the rail track is being entered or crossed. On a wet road surface, this easily can result in slipping accidents.

Based on this knowledge a number of measures are proposed:

- Move the centre lane marking within the curve of the Northern roadway (towards the city centre) to the right as close to the rail track as possible. By making this centre marking more visible and physically more forcing, road users closer to the railroad which will cause most road users to move more to the right within the curve. This will considerably reduce the risk of driving over or crossing the railroad. This solution, however, requires a rethinking of the interaction with bicyclists (redesign of the right side of the carriageway or bicyclists via the lower part of the Honingerdijk).
- Introduce a speed limit in case of a wet road surface (instead of a recommended speed of 30 km/h) in combination with a warning for slippery road conditions (a combination of traffic sign A1 (30 km/h) with traffic sign J20). Both sign combinations should be placed on a larger distance from the actual curve (not within the curve), in order to have drivers anticipate in time.
- Remove the fence in the curve, which may cause drivers to move more to the left (away from the object) in the curve with possible touching or crossing of the rail track as a consequence.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	Aanpak en methoden	7
2.1	Wegbeeldanalyse.....	7
2.2	Wegdekinspectie	8
2.3	Meetgegevens.....	8
2.4	Verzameld beeldmateriaal	8
2.5	Bestaande gegevens.....	8
3	Situatie Honingerdijk.....	9
4	Wegdekinspectie	12
4.1	Stroefheidsanalyse	12
4.2	Voertuigdynamica.....	14
4.3	Conclusie wegdekinspectie Honingerdijk	17
5	Wegbeeldanalyse	19
5.1	Snelheid.....	20
5.2	Bebording.....	20
5.3	Wegpositie	21
5.4	Conclusie	23
6	Conclusie & aanbevelingen	24
7	Referenties.....	25
8	Ondertekening.....	26

1 Inleiding

Door de Gemeentewerken Rotterdam is in 2010 onderstaande probleemschets opgesteld.

“Begin 2009 bleek er dat er op één rijbaan van de Honingerdijk een disproportioneel aantal eenzijdige verkeersongevallen met personenauto's plaatsvond. Op verzoek van de wegbeheerder, de deelgemeente Kralingen-Crooswijk, hebben DS+V en Gemeentewerken Rotterdam toen een multidisciplinair onderzoek uitgevoerd naar de mogelijke oorzaken van deze ongevallen. Uit het onderzoek kwam naar voren dat de ongevallen waarschijnlijk veroorzaakt werden door een combinatie van de volgende factoren:

- Openbare verlichting.
- Bocht ligt in tegenverkanting.
- Stroefheid van het asfalt aan de onderkant van het toelaatbare.
- Tramrails in de rijbaan.

Op basis van dit onderzoek is toen besloten om de stroefheid van het asfalt te vergroten. Wijziging van de verkanting of de ligging van de tramrails was niet financieel haalbaar. Om de gevolgen van eventuele nieuwe ongevallen te beperken is een aantal parkeervakken in de bocht ontoegankelijk gemaakt met in de grond bevestigde schrikhekken.

Na het stroever maken van het asfalt is het aantal ongevallen enige tijd afgenomen, totdat zich recent weer een aantal ongevallen heeft voorgedaan. Na deze ongevallen heeft opnieuw een analyse plaatsgevonden binnen de gemeente. Uit deze analyse blijkt dat de ongevallen zeer waarschijnlijk worden veroorzaakt door een combinatie van factoren. Factoren die daarbij mogelijk een rol spelen zijn:

- Verlichting.
- Stroefheid asfalt.
- Verkanting.
- Knik in asfalt naar rail.
- Rail.
- Weginrichting.
- Water op wegdek.
- Type voertuig.
- Snelheid van de voertuigen.
- Bestuurdersgedrag.
- Verandering van bochtstraal in de bocht.

Voor de korte termijn is besloten om een aantal maatregelen te nemen die de kans op verdere ongevallen moeten beperken, te weten:

- Adviesnelheid van 30 km/u.
- Het aanbrengen van attentie verhogende markering tussen de tramrails (nog niet uitgevoerd).
- Aanpassen van belijning om bestuurders beter te geleiden (nog niet uitgevoerd).
- Matrixborden om bestuurders te wijzen op gereden snelheid.
- Vervanging armaturen (van geel naar wit licht) (nog niet uitgevoerd).
- Afgestrooide bitumineuze vulling naast tramrail.

Deze maatregelen dienen als noodmaatregel te worden beschouwd in afwachting van een definitieve oplossing op basis van een integrale probleemanalyse. Aangezien de gemeente Rotterdam niet beschikt over alle expertise die mogelijk een rol speelt bij deze problematiek, is besloten om te zoeken naar een adviesbureau of instelling die voor de gemeente de integrale probleemanalyse kan uitvoeren en die gemeente kan adviseren over de definitieve oplossing.”

In januari 2011 heeft de gemeente Rotterdam TNO verzocht om m.b.t. de eenzijdige ongevallen een probleemanalyse uit te voeren en advies uit te brengen voor eventuele oplossing en/of noodzakelijk aanvullend onderzoek. Dit rapport doet verslag van deze probleemanalyse, geeft conclusies en doet aanbevelingen over hoe eventueel verder.

2 Aanpak en methoden

Op dinsdag 1 februari 2011 is er een kick-off bijeenkomst geweest waarbij aanwezig waren: vertegenwoordigers van de opdrachtgever, (afgevaardigden van de) buurtbewoners en het TNO-projectteam. Door de opdrachtgever is de situatie uitgelegd, de laatste stand van zaken besproken, welke maatregelen er genomen zijn en welke maatregelen men voornemens is te nemen. TNO heeft uitleg gegeven over de aanpak van het onderzoek en aangegeven welke informatie zij ter beschikking heeft en welke informatie daarvoor van de zijde van de opdrachtgever nog nodig is.

In navolging op deze bijeenkomst zijn door het TNO team, bestaande uit twee human factors experts en één automotive expert op het gebied van band-wegdek interactie, ter plekke waarnemingen gedaan van het verkeersbeeld op basis van lokale waarnemingen (wegbeeldanalyse & wegdekinspectie) en rijtesten. De eerste waarneming was op dinsdag 8 februari vanaf ca. 10:30 uur tot ca. 15:00 uur. De tweede waarneming was op woensdag 9 februari vanaf om 11:00 uur tot ca. 12:00 uur. Rijtesten zijn uitgevoerd met twee typen voertuigen:

- VW Golf IV Variant, 2001, kleine familiewagen, massa 1153 kg, spoorbreedte 1.50 m, bandenmaat 195/65 R15, geen electronic stability control en geen traction control.
- Peugeot 407 SW, 2006, middenklasser, massa 1576 kg, spoorbreedte 1.55 m, bandenmaat 205/60 R16, met electronic stability control and traction control system.

In het onderhavige onderzoek zijn de volgende aannames gedaan:

- Boogstraal slipincident locatie hart rijbaan noordzijde ~ 116 m (gebaseerd op verkregen informatie van opdrachtgever; e-mail d.d.10 februari 2011 en globale metingen op 9 februari 2011 door TNO).
- Wegdekverkanting tramspoor noordzijde tussen tramrails: nihil.
Wegdekverkanting rijbaan noordzijde naast tramrails: 3 % ~ 1,7 graden (negatief) (gebaseerd op de verkregen informatie tijdens de kick-off meeting en een globale meting op 9 februari 2011 door TNO).

2.1 Wegbeeldanalyse

Bij een wegbeeldanalyse wordt per relevante naderingsrichting nagegaan wat een weggebruiker tegenkomt aan informatieverschaffing en hoe dat het gedrag en beslissingen van weggebruikers op een bepaald moment en bepaalde plaats kan beïnvloeden. Dit gebeurt door twee human factors experts met kennis over het menselijke functioneren in het verkeer, over de manier waarop mensen informatie (kunnen) verwerken en over hoe mensen beslissingen nemen in het verkeer. Het doel van een wegbeeldanalyse is om specifieke ontwerpelementen op te sporen die mogelijk aanleiding geven tot aarzelend of onveilig rijgedrag, conflicten tussen weggebruikers, stagnatie in de verkeersafwikkeling en dergelijke. De weg- en verkeersomgeving wordt steeds beoordeeld vanuit het gezichtspunt van de betreffende weggebruiker.

2.2 Wegdekinspectie

De inspectie van het wegdek ter plekke heeft plaatsgevonden op basis van bestaande kennis van de automotieve expert, waarbij de stroefheid van het wegdek, de verkanting en de mogelijke invloed van de aanwezigheid en de situering van de tramrails als mogelijke oorzaak zijn beschouwd van de macht over het stuur verliezen van automobilisten.

2.3 Meetgegevens

Door middel van afstandsmetingen met een loopwiel en rolmaat zijn meetgegevens verkregen van de positie en/of afmetingen van de stoeprand, rijbaan, trambaan, wegmarkering, oversteekplaats, verkeersborden, tramrails en wegdekprofiel naast de tramrails.

2.4 Verzameld beeldmateriaal

Tijdens de inspectie zijn foto- en video opnames gemaakt van de locatie en het verkeer met als doel de verkeerssituatie in kaart te brengen en vast te leggen en een inschatting te kunnen maken van de gemiddelde wegpositie van voertuigen op de noordelijke rijbaan van de Honingerdijk.

2.5 Bestaande gegevens

In het onderzoek is ook gebruik gemaakt van bestaande informatiebronnen, te weten opnamen van een bewoner aan de Honingerdijk van ongevallen (YouTube filmpjes) en de documentatie (wrijvingsweerstandrapporten, situatie tekeningen) zoals deze door de opdrachtgever op 3 februari 2011 naar TNO is gemaaild.

3 Situatie Honingerdijk

De Honingerdijk bestaat uit een enkelbaans weg in twee richtingen, met een tramspoor in beide richtingen. Het zuidelijke deel van de rijbaan (richting stad uit) bestaat uit asfalt en is 4.10 m breed, toegankelijk voor zowel motorvoertuigen als fietsers met in de lengterichting aanwezige parkeervakken. De rest van de rijbaan bestaat uit een verhoogd gedeelte (gescheiden door een schuine trottoirband van de zuidelijke rijbaan) en bestaat uit een tramspoor de stad uit en een noordelijk tramspoor en een rijbaan voor het verkeer de stad in (richting centrum). Deze rijstrook is zowel voor gemotoriseerd verkeer als voor fietsers en is met een doorgetrokken witte lijn gescheiden van het tramspoor in tegengestelde richting. Het gedeelte van de Honingerdijk dat is onderzocht betreft de noordelijke rijbaan over een afstand van ca. 120 m met daarin de ongevalgevoelige bocht met een boogstraal van ca. 116m. Over de hele Honingerdijk en ook in de bocht ligt de noordelijke tramspoor volledig in de noordelijke rijbaan (zie figuur 2). Afgaande op het beeldmateriaal (YouTube) en de locaties waar auto's op de rails rijden of deze kruisen, vinden de meeste slipincidenten plaats op het weggedeelte A-C (zie figuur 1), in de noordelijke rijstrook ter hoogte van huisnummer 25.

Op het door TNO genomen beeldmateriaal is duidelijk te zien dat het merendeel van de voertuigen met de wielen geregeld op de tramrails rijdt of bij het aansnijden van de bocht, de tramrails kruist (zie figuur 2). Uit de filmpjes blijkt bovendien dat hoofdzakelijk kleine tot middelgrote auto's bij de slipincidenten betrokken zijn. CROW (2010) geeft aan dat de gemiddelde spoorbreedte voor personenauto's 1,46 m bedraagt met een 5e percentielwaarde van 1,36 m en een 95e percentielwaarde van 1,56 m. De spoorbreedte is gedefinieerd als de afstand tussen twee wielen van dezelfde as vanuit het midden van iedere band. De afstand tussen de tramrails is 1.45 en dus is het risico om met beide banden op de rails te raken voor kleine tot middelgrote auto's extra groot. De voertuigen breken met de achterwielen uit en raken overstuurd. Een enkeling weet de slip van het voertuig dusdanig te corrigeren dat het voertuig op de eigen rijbaan blijft. Het merendeel van in slip geraakte voertuigen kruist de beide tramsporen en komt haaks of 180 graden gedraaid (t.o.v. de originele rijrichting) op de rijbaan van het tegemoet komende verkeer (zuidelijke rijstrook) terecht (zie figuur 4).

De noordelijke rijstrook heeft een totale breedte van 4.15 m. De rails heeft een breedte van 1.45 m waarvan de linker rails zich op 0.8 m van de linker wegkantmarkering bevindt. De afstand tussen de rechter rails en het trottoir is 1.9 m (zie figuur 3).



Figuur 1 Afstanden Honingerdijk in langsricting:

H--5.1m--G---31.9m---F-4.2m-E-1.4m-D---10.1m---C---11.9m---B---49.2m---A

Met:

- A: 1e snelheidsadviesbord
- B: 1^e chevronbord
- C: 2^e chevronbord
- D: 3^e chevronbord
- E: Begin schrikhek
- F: 2^e snelheidsadviesbord
- G: Einde schrikhek
- H: Lichtmast bij zebra



Figuur 2 Trampoer en voertuigbaan overlappen.; Voertuigen op tramrails.



Figuur 3 Dwarsdoorsnede Honingerdijk richting centrum ter hoogte van 1^e chevronbord.



Figuur 4 Voertuig halverwege de slip Voertuig net na de slip
 (<http://www.YouTube.com/watch?v=OnheWlhOb2M&feature=related>).

4 Wegdekinspectie

4.1 Stroefheidsanalyse

Uit de wrijvingsweerstand rapporten (KOAC-NPC, 2009; Brinkman, 2009) blijkt, dat de wrijvings(weerstand)coëfficiënt (μ) van het asfalt ter plekke van de incidentlocatie tussen 0,41 en 0,48 is (onder natte omstandigheden) en daarmee als twijfelachtig stroef kan worden aangemerkt (zie tabel 1 en tabel 2).

Tabel 1 Stroefheid kwalificaties.

Stroefheid	Kwalificatie
< 0.24	Gevaarlijk
0.24 t/m 0.30	Zeer glad
0.31 t/m 0.37	Glad
0.38 t/m 0.44	Twijfelachtig
0.45 t/m 0.51	Matig stroef
0.52 t/m 0.72	Stroef
>0.72	Zeer stroef

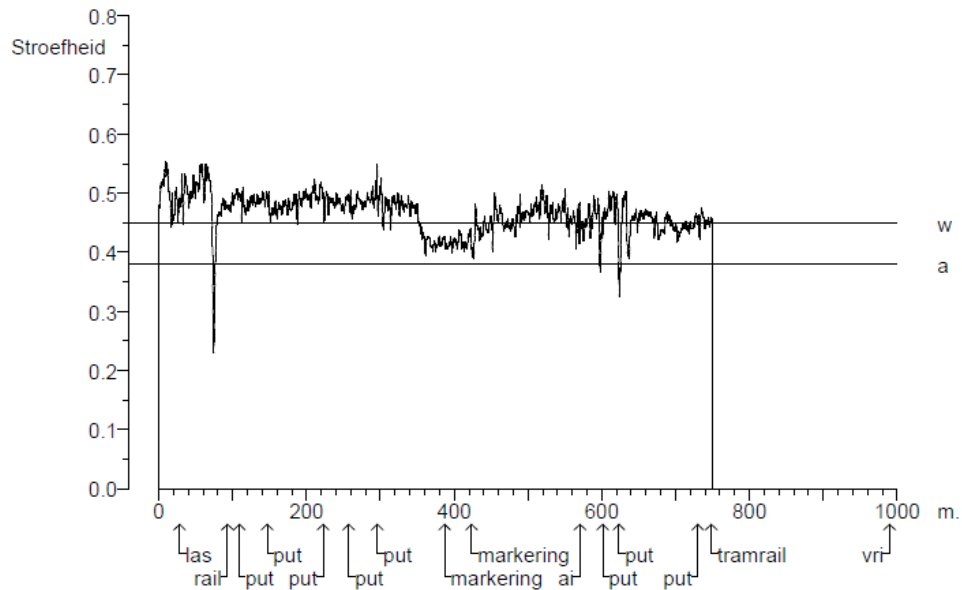
De metingen zijn uitgevoerd onder natte omstandigheden met een standaard referentieband conform een gestandaardiseerde testmethode voor het meten van (dynamische) stroefheid van wegdekken. In hetzelfde rapport wordt tevens verslag gedaan van statische stroefheidsmetingen uitgevoerd volgens de slingermethode. Daarmee is plaatselijk en op meerdere punten de stroefheid van de tramrails en het asfalt van de noordelijke rijbaan bepaald. In tabel 2 is een samenvatting gegeven van de relevante resultaten uit de stroefheidsmetingen van de rollende band (dynamisch) en de slingerproef (statisch).

Tabel 2 Samenvatting stroefheidsmeting (Brinkman, 2009).

Resultaat (dynamische) stroefheidsmeting met rollende (auto)band			
Rijbaan	Wegvak	Stroefheid (f) rechter spoor	Stroefheid (f) tussen de sporen
Noord	350m-450m, raai 12-2 (bocht)	0.44 - 0.48	0.41 - 0.48

Resultaat (statische) stroefheidsmeting met slingertoestel			
Rijbaan	Wegdek materiaal, raai 1-15	SRT getal	Kwalificatie
Noord	Markering	57-69	Matig stroef
	Asfalt tussen markering en rail	55-63	Matig stroef
	Railkop	13-20	Glad
	Asfalt tussen rails	56-72	Matig stroef tot stroef
	Asfalt aan rechterzijde trambaan	67-81	Stroef tot zeer stroef

Uit het KOAC-NPC (2009) rapport kan men in de grafisch weergegeven stroefheidsmeting resultaten duidelijk de lage piekwaarde zien als de band over de tramrails gaat of deze kruist (zie figuur 5).



Figuur 5 Grafische voorstelling van de stroefheidswaarden in het midden van de rijbaan (noordzijde). Het gebied tussen 350 m en 450 m is de bocht (KOAC, 2009).

Onbekend is in hoeverre de statische slingerproef correleert met de dynamische stroefheidsproef. Echter, zowel uit de resultaten weergegeven in tabel 2 als de grafiek van figuur 5 is het duidelijk dat de tramspoorrails een aanzienlijk lager stroefheid heeft dan het asfalt. Uit de resultaten van de statische slingerproef kan men stellen dat de railkop circa een factor 4 lagere stroefheid heeft dan het asfalt. Dit komt redelijk overeen met de in de werktuigbouw gehanteerde wrijvingscoëfficiënt-waarden voor dynamisch gesmeerde combinatie van rubber op metaal of rubber op asfalt (zie tabel 3).

Tabel 3 In de werktuigbouw gehanteerde wrijvingscoëfficiënten voor rubber op staal of asfalt (<http://www.werktuigbouw.nl/abc/cof.htm>).

Combinatie	Statisch droog	Statisch gesmeerd	Dynamisch droog	Dynamisch gesmeerd
Rubber-metaal	1.2	0.8	0.5	0.01-0.3
Rubber-asfalt	-	0.5-0.8	-	0.25-0.75

Gezien de gegeven waarden wordt in dit onderzoek ervan uit gegaan dat de wrijvingscoëfficiënt van een autoband op staal < 0,2 is (dynamisch en onder natte omstandigheden).

Voor de locatie Honingerdijk kan de stroefheid nog slechter uitpakken. Er moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat zowel de rails alsmede het asfalt in de directe nabijheid van de rails een lagere wrijvingsweerstand heeft dan de meetwaarden veronderstellen. Dit omdat aan de buiten zijden van de rails een

goot aanwezig is (zie figuur 6) en dus bij regenachtig weer water kan bevatten¹. Daardoor kan, indien er een wiel over het spoor rijdt, door verdringen van het water door de band een verhoogde hoeveelheid water vlak voor en opzij van de band terecht komen met als gevolg een nog lagere wrijvingscoëfficiënt.



Figuur 6 Tramrails (breedte 0.115 m) met goot (0.07 m) ernaast. Het totaal komt daarmee op 0.185 m breedte, overeenkomend met een zeer gangbare bandbreedte voor kleine en middelgrote personenauto's.

Naar aanleiding van de bevindingen in 2009 heeft men door verruwing de stroefheid van het asfalt vergroot, maar een naar zich aanvankelijk liet aanzien positief effect daarvan is volgens de betrokkenen bij de gemeente weer helemaal weggeëbd.

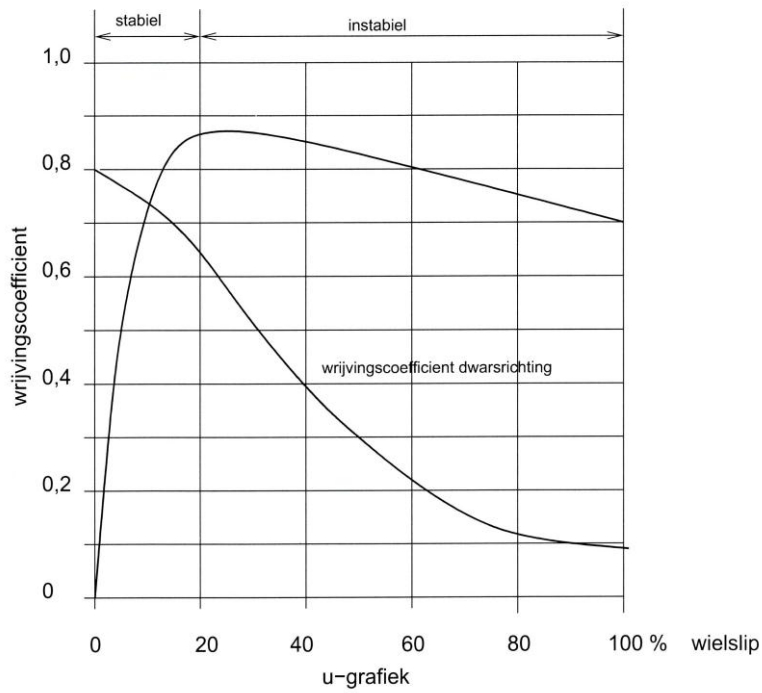
4.2 Voertuigdynamica

Om een voertuig voort te bewegen of af te remmen en om de dwarskrachten in een bocht op te kunnen vangen moeten de wielen een kracht op het wegdek kunnen overbrengen. De maximum over te brengen rem- of tractiekracht (F_t) of dwarskrachten (F_d) uitgeoefend door de wielen op het wegdek moet gelijk of kleiner zijn dan de maximale wrijvingsweerstandkracht (F_w) tussen wiel en wegdek. Indien de over te brengen wielkracht op het wegdek groter is dan de wrijvingsweerstandkracht treedt er slip op. De wrijvingsweerstandkracht van een band is gelijk aan de normaalkracht maal de wrijvingscoëfficiënt $\{F_w = F_n * \mu\}$.

De wrijvingscoëfficiënt van een band in langsrichting wordt bepaald door een rollende (auto)band af te remmen, de daarbij behorende remkracht (F_r), de verticale bandbelasting (F_z) en het slippercentage te meten. De wrijvingscoëfficiënt van een band in dwarsrichting, wordt bepaald door de band niet af te remmen maar deze een toenemende stuurhoek te geven, de dwarskracht (F_y), verticale bandbelasting (F_z) en het slippercentage te meten.

Een voorbeeld van de wrijvingscoëfficiënten in langs- en in dwarsrichting van een in de jaren 80 ontwikkelde standaard zomer autoband op droog en stroef asfalt is weergegeven in figuur 7.

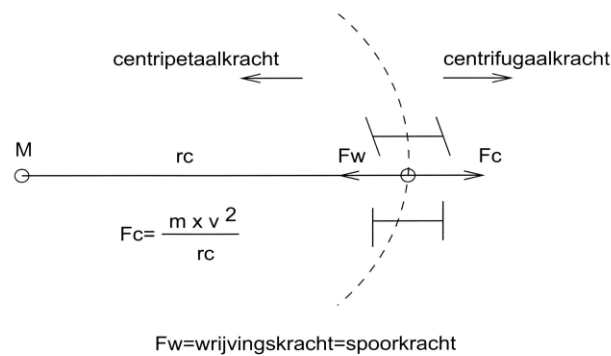
¹Er is niet gecontroleerd of de goot vlak vóór en in de bocht in de lengterichting afwatert



Figuur 7 Karakteristiek wrijvingscoëfficiënt verloop van een autoband in langs en dwars richting.

Globaal gesproken kan men stellen dat de wrijvingscoëfficiënten van een normale autoband op nat wegdek tussen de 5% en 20% lager kan liggen (e.a. afhankelijk van kwaliteit en type band).

In de bocht ondervinden de voertuigen een centrifugaalkracht (F_c). De centrifugaalkracht (F_c) wordt bepaald door de formule $\{F_c = m \cdot v^2 / r\}$ m = massa voertuig (kg), v = voertuigsnelheid (m/s), r = bochtstraal (m) (zie figuur 8).



Figuur 8 Schematische weergave krachtenspel van voertuig in een bocht.

In de bocht van de Honingerdijk is er sprake van een negatieve wegverkanting, waardoor de F_c moet worden verhoogd met de ontbindingscomponent (F_g) van de zwaartekracht van het voertuig op de hellingshoek (β). De daarvoor gebruikte formules zijn:

- hellingshoek in graden $\{\beta = \text{TAN-1}(x\%)\}$
- additionele dwarskracht door wegverkanting $\{F_g = m \cdot g \cdot \sin(\beta)\}$.

In tabel 4 is een overzicht gegeven van de dwarskracht (volgens voorgaande formules) die een voertuig van 1200 kg ondervindt bij verschillende snelheden en wegverkantingshoeken.

Tabel 4 Overzicht van de theoretische dwarskrachten bij verschillende snelheden en wegverkantingshoeken.

Dwarskracht $F_d = F_c + F_g$ [N], bij onderstaande (negatieve) wegverkanting (in %) en snelheden									
Km/h	m/s	0%	1%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%
45	12,5	1616	1734	1793	1852	1911	1969	2028	2087
44	12,2	1545	1663	1722	1781	1840	1898	1957	2016
43	11,9	1476	1594	1652	1711	1770	1829	1888	1946
42	11,7	1408	1526	1585	1643	1702	1761	1820	1879
41	11,4	1342	1460	1518	1577	1636	1695	1754	1812
40	11,1	1277	1395	1454	1513	1571	1630	1689	1748
39	10,8	1214	1332	1391	1449	1508	1567	1626	1685
38	10,6	1153	1270	1329	1388	1447	1506	1564	1623
37	10,3	1093	1210	1269	1328	1387	1446	1505	1563
36	10,0	1034	1152	1211	1270	1329	1387	1446	1505
35	9,7	978	1096	1154	1213	1272	1331	1390	1448
34	9,4	923	1040	1099	1158	1217	1276	1335	1393
33	9,2	869	987	1046	1105	1163	1222	1281	1340
32	8,9	817	935	994	1053	1112	1170	1229	1288
31	8,6	767	885	944	1002	1061	1120	1179	1238
30	8,3	718	836	895	954	1013	1071	1130	1189

In tabel 5 is een overzicht gegeven van de wrijvingsweerstand (Fw) die een voertuig van 1200 kg ondervindt in een bocht met een bochtstraal van 116 m bij verschillende snelheden en wegverkantingshoeken. De daarvoor gebruikte formules zijn:

- hellingshoek in graden $\{\beta = \text{TAN-1}(x\%)\}$
- normaalkracht voertuig loodrecht op wegverkanting $\{F_n = m \cdot g \cdot \cos(\beta)\}$
- wrijvingskracht banden op wegdek $\{F_w = F_n \cdot \mu\}$

Tabel 5 Overzicht van de theoretische wrijvingskrachten bij verschillende wegverkantingshoeken en wrijvingscoëfficiënten.

Wrijvingskracht banden $F_w = F_n \cdot \mu$ [N] op het wegdek bij onderstaande (negatieve) wegverkanting (in %) en wrijvingscoëfficiënten (μ)								
μ	0%	1%	1,5%	2,0%	2,5%	3,0%	3,5%	4,0%
0,075	883	883	883	883	883	883	882	882
0,10	1177	1177	1177	1177	1177	1177	1176	1176
0,15	1766	1766	1766	1765	1765	1765	1765	1764
0,20	2354	2354	2354	2354	2354	2353	2353	2353
0,25	2943	2943	2943	2942	2942	2942	2941	2941
0,30	3532	3531	3531	3531	3530	3530	3529	3529
0,40	4709	4709	4708	4708	4707	4707	4706	4705
0,50	5886	5886	5885	5885	5884	5883	5882	5881
0,60	7063	7063	7062	7062	7061	7060	7059	7058

Door middel van de kleuren kan men in tabel 4 zien bij welke combinatie van voertuigsnelheid, wegverkantingshoek en wrijvingscoëfficiënt, de dwarskracht groter is dan de wrijvingsweerstandkracht (spoor kracht). De dwarskrachten F_d (in tabel 4) met rode achtergrond zijn bij een wrijvingscoëfficiënt $\mu \leq 0.15$ groter dan de wrijvingsweerstand F_w behorende bij een wrijvingscoëfficiënt $\mu = 0.15$ in tabel 5. Dit is hetzelfde bij een $\mu \leq 0.10$, waarbij de dwarskrachten in de gele en rode vlakken groter zijn dan de wrijvingsweerstand behorende bij een wrijvingscoëfficiënt $\mu = 0.10$.

Indien de dwarskracht groter is dan de wrijvingskracht treed er slip op. Dit is echter zuiver theoretisch. In het gekozen voertuig zijn de wiellasten gelijk en ligt het zwaartepunt in het centrum van het wiel-wegdek raakvlak. In de praktijk zal dat ongunstiger uitvallen. De gewichtsverdeling per wiel is, door ontwerp (vooras ledig voertuig hoger belast dan achteras), door belading en door dynamische effecten, anders en variabel.

4.3 Conclusie wegdekinspectie Honingerdijk

Uit de videobeelden van YouTube en de waarnemingen van TNO blijkt duidelijk dat de voertuigen geregeld op de rails rijden of bij het aansnijden van de bocht de rails kruisen (zie figuur 2). De resultaten van de stroefheidsmetingen (tabel 2) geven aan dat de railkop het punt is waar de wrijvingsweerstand het laagst is, waarbij de band bij een normale voertuigsnelheid voor dit weggedeelte zijn grip kan verliezen (zie tabel 4).

Indien de voorwielen zijdelings gaan slippen, raakt het voertuig onderstuurd en zal deze eerder rechtdoor willen gaan. De bochtstraal wordt daardoor groter of zelfs opgeheven en daarmee wordt ook de dwarskracht (F_c , centrifugaal kracht) verlaagd dan wel opgeheven. De voorwielen hervinden hun grip op het wegdek en het voertuig is weer bestuurbaar. Indien de achterwielen zijdelings gaan slippen, raakt het voertuig overstuurd en komt het in een scherpere bocht, waardoor: de dwarskracht toeneemt, de zijdelingse slip in stand wordt gehouden en het voertuig verder zal uitbreken. De voorwielen hebben hun grip behouden en trekken het voertuig in de door de achterwielslip nieuw verkregen voertuigrichting al of niet nog met enige dwarsslip over de rails heen op de tegenovergestelde rijbaan (zie voorbeeld figuur 4).

De hoofdoorzaak van de slip partijen is gelegen in de aanwezigheid van een zeer lage wrijvingsweerstand van het wegdek in de reguliere baan van de voertuigen bij het ingaan van en in de bocht. Het wegdeel met de zeer lage wrijvingsweerstand betreft de tramrails dat in de reguliere baan van de voertuigen ligt. Doordat direct naast de rails een verlaagd gedeelte aanwezig is (watergoot ca. 5 mm diep en 7 cm breed) kan, indien het voertuig met de band over de rails en goot rijdt door verdringing van het water plaatselijk direct voor en naast de band, op de railkop en op het daarnaast liggende asfalt een verhoogde waterfilm ontstaan. Door deze extra waterhoeveelheid kan de wrijvingsweerstand lager uitvallen dan gemeten.

Opgemerkt dient te worden dat er meerdere factoren zijn, die mede bepalend zijn of een voertuig in een slip raakt of niet. Zo hebben de voertuigsnelheid, bruske stuurbewegingen, de negatieve wegverkanting, voertuigeigenschappen (dynamisch gedrag, ESC, etc.), oplettendheid en stuurmanskunst van de bestuurder daar ook hun invloed op, maar deze zijn in de Honingerdijk case ondergeschikt aan de hoofdoorzaak. Indien de voertuigen niet over de tramrails rijden of deze kruisen (zie hoofdstuk 5) zal het risico op slippartijen drastisch worden verlaagd. Andere wegontwerp maatregelen zoals wegverkanting aanpassen en watergoot langs de rails dichten zullen het risico op slippartijen slechts beperkt verlagen.

5 Wegbeeldanalyse

Een bestuurder die met een auto door een bocht rijdt heeft twee taken; het wegverloop correct volgen en op een veilige afstand van de wegwand blijven. Bestuurders stemmen hun rijgedrag af op de waargenomen eigenschappen van een weg. Daarom is het van groot belang dat het wegontwerp overeen komt met de verwachtingen en het natuurlijk gedrag van een bestuurder, hetgeen een herkenbare inrichting en geometrie vereist. Herkenbaarheid is gerelateerd aan de paraatheid van de bestuurder om de rijtaak op een voorgeschreven manier uit te voeren. Het verstoren van de verwachtingen (zoals bijvoorbeeld een onaangekondigde scherpe bocht) kan ervoor zorgen dat de bestuurder een verkeerde snelheid aanhoudt, wat leidt tot hard remmen of kritieke manoeuvres. In de wegbeeldanalyse is vooral gekeken naar het (te verwachten) rijgedrag op het niveau van snelheid (bij nadering en in de bocht) en wegpositie in relatie tot de situatie van het naderen en berijden van de bocht op de Honingerdijk.

Het onderzochte traject begint op de Honingerdijk richting centrum (noordelijke rijbaan) bij het kruispunt met de Oostmaaslaan en de Honingerdijk benedenlangs. Direct na dit kruispunt komt de noordelijke trambaan op de rijbaan voor het wegverkeer en is er na enkele tientallen meters een doorgetrokken middenstreep die taps wegloopt links van de trambaan en verder evenwijdig aan de trambaan loopt op een afstand van 0.80 m (zie figuur 9). Op circa 250 m voor de bocht is er een matrixsnelheidsbord (zogenaamd smileybord) dat automobilisten attendeert op hun ter plekke gereden snelheid (toegestaan 50 km/h) (zie figuur 9).



Figuur 9 Begin middenmarkering en matrix snelheidsbord op circa 250 m voor het begin van de bocht op de noordelijke rijbaan van de Honingerdijk.

Op circa 50 m voor het begin van de bocht staat er het eerste snelheidsadviesbord (zie figuur 2). De Honingerdijk heeft aan één kant bebouwing (links) en aan de andere kant een bomerij en een talud als afscheiding van het lager gelegen gedeelte van de Honingerdijk. Aan beide zijden zijn er parkeerhavens met geparkeerde voertuigen.

5.1 Snelheid

Een (te) hoge onaangepaste snelheid speelt een belangrijke rol bij het ontstaan van enkelvoudige ongevallen (Janssen, de Ridder & Brouwer, 2004). In situaties waarin er sprake is van een glad wegdek is een te hoge snelheid extra risicovol. In het geval van de Honingerdijk is er sprake van een snelheidslimiet van 50 km/h. In de bocht waar geregeld voertuigen in een slip raken is een adviessnelheid van 30 km/h ingesteld. Tijdens de testritten door TNO over de Honingerdijk is, al meerijsend met het overige verkeer, de voertuigsnelheid geregistreerd (door middel van een GPS logger). De gereden snelheden vlak vóór en in de bocht varieerden tussen 35 km/u en 46 km/u. Het wegbeeld van de Honingerdijk met gemengd verkeer en geparkeerde voertuigen aan weerszijden van de rijbaan voorafgaand aan de bocht nodigt niet uit tot extra hoge snelheden en komt redelijk overeen met een snelheidslimiet van 50 km/h.

Van de gereden snelheden van de voertuigen waarvan een slipincident is geregistreerd (YouTube) is een globale schatting dat de snelheid zo tussen de 40 km/u en 50 km/u ligt. Deze gegevens suggereren dat bestuurders niet de adviessnelheden opvolgen, hetgeen een sterk verhoogd risico op slippen met zich meebrengt (zie hst. 4, Tabel 4). Een lagere snelheid zal het risico op enkelzijdige ongevallen verminderen, onafhankelijk van de gladheid van het wegdek. Daarom wordt geadviseerd een snelheidsgebod in te stellen in het geval van een nat wegdek.

5.2 Bebording

Overgangen naar een ander wegtype of veranderingen in de lay-out van de weg (zoals een scherpe bocht, of rijstrookversmalling) dienen tijdig aangegeven te worden, zodat de bestuurder niet verrast wordt en tijdig zijn rijgedrag kan aanpassen. Met het aangeven van gevaarlijke situaties dient echter wel behoudend omgegaan te worden. Onderzoek heeft namelijk laten zien dat bij herhaling van een waarschuwing voor een scherpe bocht binnen een traject, bestuurders minder onder de indruk zijn (kleinere afname van snelheid voor de bocht) (De Ridder, 2005; van der Horst & De Ridder, 2007). Op de Honingerdijk wordt eenmaal ca. 50 m voor de bocht gewaarschuwd voor slipgevaar en eenmaal in de bocht. De adviessnelheid van 30 km/u wordt tezamen met deze waarschuwing getoond. Bovendien wordt er niet expliciet gemeld dat er met name sprake is van slipgevaar bij een nat wegdek. Dit zou kunnen leiden tot devaluatie van het advies, aangezien in droge omstandigheden automobilisten meestal geen problemen ondervinden. Geadviseerd wordt wat ruimer voor de bocht dan nu het geval is (circa 50 m) een eerste waarschuwing te geven. De tweede waarschuwing kan dan vlak voor de bocht gegeven worden. Aangezien het slipgevaar vooral optreedt vlak voor de bocht en in de bocht, is het van belang ruim voor deze locatie de bestuurder te informeren zodat deze tijdig kan anticiperen op de verkeerssituatie. Bovendien kan bebording in de bocht voor afleiding van de (moeilijkere) rijtaak zorgen. De chevronborden staan op de juiste locatie aangezien deze minder informatieverwerking vergen en al op grotere afstand zichtbaar zijn. Daarnaast verdient het aanbeveling expliciet te vermelden dat er slipgevaar optreedt bij een nat wegdek. De functionaliteit van de schrikhekken is ons minder duidelijk.

De aanwezigheid daarvan maakt enerzijds dat fietsers bij het passeren ervan meer naar links rijden en zal ook automobilisten die rechts van het midden in de rijstrook rijden wat meer naar links doen opschuiven met het betreden van de tramrails tot gevolg.

5.3 Wegpositie

Op basis van het door TNO verzameld beeldmateriaal kan worden geconcludeerd dat een groot deel van de voertuigen in en net voor de bocht op de Honingerdijk met de wielen op de tramrails rijdt of bij het aansnijden van de bocht de tramrails kruist (van de buitenkant richting binnenkant). Dit was het geval voor 27 voertuigen van de in totaal 54 geobserveerde voertuigen. Uit de stroefheidsanalyses (zie hoofdstuk 4) blijkt dat de rails kan worden geclassificeerd als 'glad'. Bovendien kunnen andere factoren (de goot naast de rails) en een nat wegdek voor een sterk verminderde wrijvingsweerstand zorgen bij het kruisen van of rijden over de rails.

Vooraf de kleine en middenklasse voertuigen die over het algemeen nog niet uitgerust zijn met een Electronic Stability Control (ESC), niet te brede banden hebben en een spoorbreedte gelijk aan of om en nabij de spoorbreedte (1.45 m) van de tramrails (de gemiddelde spoorbreedte van auto's is 1.46 m), zijn kwetsbaar voor wegglijden/slippen op de tramrails. Dit blijkt ook uit de YouTube filmpjes. In de opnames zijn hoofdzakelijk kleine tot middelgrote auto's betrokken bij de geregistreerde slipincidenten. De voertuigen breken met de achterwielen uit en raken overstuurd (zie figuur 4).

Verder blijkt dat 22 van de 54 geobserveerde voertuigen in de bocht met hun linker wielen over de middenstreep rijden, waarvan 19 met hun rechter wielen tussen de tramrails van het noordelijke tramspoor en 3 zelfs geheel links van het noordelijke tramspoor. 15 voertuigen rijden met hun linker wielen tussen de tramrails van het noordelijke spoor en met hun rechter wielen rechts ervan. Beide categorieën kiezen een pad waarbij ze niet met beide voor- of achterwielen op de tramrails rijden en zo het risico van slippen op de tramrails vermijden. Enkele voorbeelden van verschillende padkeuzes zijn gegeven in figuur 10.



Figuur 10 Verschillende padkeuzes, gedeeltelijk links van tramrails (links), op tramrails (midden) en gedeeltelijk rechts van tramrails (rechts).

Uit bovenstaande analyse komt naar voren dat het rijden over of het kruisen van de trambaan, met name bij een nat wegdek, tot onveilige situaties kan leiden. Het wegverloop in combinatie met de markering en objecten naast de weg bepalen hoe een automobilist zijn/haar pad kiest. Bestuurders zijn vaak geneigd een bocht af te snijden. Op relatief smalle rijstroken zijn bestuurders met name geneigd in de bocht dicht naar de binnenkant van de bocht te gaan rijden (Coutton-Jean, Mestre, Goulon & Bootsma, 2009). Hierdoor gaan bestuurders in een bocht links

van het midden rijden, hetgeen ook het geval is op de Honingerdijk. Op de Honingerdijk betekent dit dat bij het ingaan van de bocht bestuurders veelal met de wielen op de rails terecht komen of de rails kruisen. De linker rail van het tramspoor richting centrum ligt op een afstand van 0,80 m van de asmarkering (doorgetrokken streep), zie figuur 2. Bij eerder onderzoek naar de dwarspositie van personenauto's bleek dat 95% van vrijrijdende voertuigen zich met (het midden van de) linker wielen binnen een afstand van 0,85 m tot de asmarkering rijdt (van der Horst & Bakker, 1994). Dit betrof wel een 80 km/h weg zonder gemengd verkeer en een rijstrookbreedte van 2.75 m (tussen de lijnen). Rekening houdend met een bredere rijstrook op de Honingerdijk (4,10 m tussen trottoir en asmarkering) is een padkeuze met de linkerwielen op de tramrails normaal rijgedrag. Een compacte middenklasse auto heeft een spoorbreedte van 1.45-1.50 m en rijdt dan daarmee bij dit gedrag gemakkelijk met alle wielen op de tramrails. Voor de personenvoertuigen die met de linkerwielen tussen de tramrails rijden en met de rechter wielen tussen tramrails en trottoir zal het passeren van een fietser al gauw aanleiding geven tot het betreden of kruisen van de tramrails. Een groep automobilisten snijdt de bocht af en rijden gedeeltelijk over de witte streep tussen de beide tramsporen met hun linker wiel tussen beide tramsporen en met hun rechter wielen tussen de tramrails van het noordelijke tramspoor.

Een manier om definitief te voorkomen dat weggebruikers de rails kruisen of er overheen rijden is het verleggen van de rails en/of weg. Aangezien dit een kostbare ingreep is, is een alternatief voorstel de voertuigrijbaan (gedeeltelijk) te verleggen door middel van het wijzigen van de asmarkering, waardoor de rijstrookpositie van de meeste weggebruikers zal worden beïnvloed. Wanneer de asmarkering meer naar rechts (gezien vanuit de bestuurder) komt te liggen zo dicht mogelijk bij de tramrails, beter zichtbaar wordt en een fysiek dwingender karakter heeft (schuine trottoirband, 'broodjes?'), moeten automobilisten hun wegpositie in de bocht meer naar rechts verplaatsen, zodat het risico op het rijden over of het kruisen van de tramrails aanzienlijk wordt verkleind. Omdat weggebruikers meestal enige afstand houden tot de markering (zeker als deze ook fysiek is uitgevoerd), zullen bij een geringe afstand tussen het linker spoor en de wegmarkering de weggebruikers met hun linker wielen tussen de beide tramsporen rijden en in de bocht niet meer op de rails terecht komen of deze kruisen.

Met deze aanpak wordt echter ook de rijbaan versmald. Een verschuiving van de positie van weggebruikers naar rechts is bovendien beperkt, aangezien zich aan de rechterkant van de weg in de bocht een verhoogd trottoir en parkeerhavens bevinden. Bovendien bevinden zich ook fietsers op de rijbaan. De minimaal voorgeschreven breedte van een rijbaan met gemengd verkeer, gebaseerd op de combinatie van een personenauto die een fiets passeert is 3,40 m a 3,60 m (ASVV, 2004). De noordelijke rijstrook heeft nu een breedte van 4.15 m, die daarmee in de huidige vorm ruim voldoet. Wanneer de rijbaan wordt versmald met bijvoorbeeld 0.5 m, betekent dit dat er aan de rechter kant wel een verbreding zal moeten plaats vinden van tenminste 0.5 m om een acceptabele situatie te creëren voor alle weggebruikers. Deze verbreding zou kunnen worden bewerkstelligd door het trottoir te versmallen en parkeerhavens te verwijderen. Als dit niet mogelijk is moet overwogen worden om de fietsers van deze rijbaan af te halen en onderlangs de Honingerdijk te leiden. Tenslotte wordt geadviseerd het schrikhek weg te halen aangezien dit vanwege 'obstakelvrees' (de Vos, Hoekstra & Pieterse, 1998;

Tenkink, 1989) er toe kan leiden dat automobilisten juist meer naar links gaan rijden en daarmee op de tramrails komen.

5.4 Conclusie

De wijze waarop weggebruikers de bocht nemen op de Honingerdijk, in combinatie met de gladheid van het spoor (en aangrenzende asfalt) en de gereden snelheid zorgt voor gevaarlijke situaties. De meest effectieve maatregel zou zijn het spoor (of de rijbaan) zodanig te verleggen dat deze niet meer overlapt met de rijbaan. In beschouwing nemende dat dit een zeer ingrijpende en kostbare ingreep is, adviseert TNO het wegverloop aan te passen, waarmee het rijgedrag van autobestuurders zodanig zal worden aangepast dat er in de bocht niet meer over de tramrails zal worden gereden (of gekruist). Dit kan worden bewerkstelligd door de wegmarkering naar rechts (gezien vanuit de noordelijke rijbaan) te verschuiven, deze beter zichtbaar en fysiek dwingender te maken zodat bestuurders de bocht niet meer kunnen afsnijden en in de bocht op de rails rijden (links, rechts, of aan beide zijden) of de rails kruisen. Dit impliceert wel dat de rijbaan voor en in de bocht naar de rechterzijde moet opschuiven met het versmallen van het trottoir en mogelijk het verwijderen van enkele parkeerhavens tot gevolg. Indien dit niet mogelijk is zal overwogen moeten worden de fietsers van deze rijbaan te halen en onderlangs de Honingerdijk te leiden.

Aangezien de gemiddelde snelheid hoger lijkt te liggen dan de geadviseerde 30 km/h en dit de kans op slippen sterk verhoogt, wordt geadviseerd een snelheidslimiet in te stellen (onder omstandigheden van nat wegdek). Dus in plaats van plaats van borden met adviessnelheden borden verplichte snelheid van 30 A1 met onderbord: 'bij nat wegdek' gecombineerd met bord J20 'slipgevaar'.

Tenslotte zou het plaatsen van één (specifieker) waarschuwbord net voor de bocht (in plaats van in de bocht) en één waarschuwbord iets ruimer vóór de bocht beter zijn dan de huidige situatie, omdat een bestuurder dan tijdig adequaat kan anticiperen op de gegeven informatie.

6 Conclusie & aanbevelingen

Uit de wegininspectie, wegbeeldanalyse en bestudering van beschikbaar materiaal is gebleken dat de eenzijdige ongevallen op de Honingerdijk vooral plaatsvinden door het slippen op nat wegdek. Oorzaak hiervan is het rijden met de banden over of het kruisen van de tramrails bij nat wegdek. Een wegininspectie in combinatie met beschikbare kennis en informatie over het risico op slippen bij bepaalde wegeigenschappen heeft laten zien dat met name de gladheid van de rails bij een nat wegdek, in combinatie met de aanwezige wegverkanting en gereden snelheden, met een aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid hebben geleid tot de plaatsgevonden slip incidenten. Uit de wegbeeldanalyse is verder gebleken dat het rijden met de banden op de tramrails of het kruisen van de tramrails bij het nemen van de bocht door automobilisten als normaal rijgedrag moet worden gezien, gegeven de afmetingen van de bocht en de inrichting van de weg.

Om het risico op slippen te verminderen moet voorkomen worden dat automobilisten in de bocht op de tramrails rijden of de tramrails kruisen. We zien hiervoor twee mogelijke oplossingsrichtingen:

- A) Verwijder de tramrails richting centrum in de bocht door ter plekke enkel spoor toe te passen met een verkeersregeling voor trams.
- B) Schuif in de bocht van de noordelijke rijbaan de asmarkering zo dicht mogelijk tegen de tramrails richting centrum (naar rechts) aan en maak deze beter zichtbaar en moeilijk overschrijdbaar (schuine trottoirband of 'broodje'). Een dergelijke asmarkering moet ruim van te voren goed worden ingeleid. Hierdoor zullen de weggebruikers hun wegpositie in de bocht meer naar rechts verplaatsen, zodat het risico op het rijden over of het kruisen van de tramrails in de bocht wordt voorkomen. Dit vergt een nadere oplossing voor de interactie tussen gemotoriseerd verkeer en fietsers en moet dan gepaard gaan met een verschuiving van de rijbaan aan de rechter kant ten koste van een deel van het trottoir, de ter plaatse aanwezige vuilcontainers en enkele parkeerplaatsen. Extra aandacht is dan ook nodig voor de verbinding tussen de oversteek op het bovenliggende deel van de Honingerdijk en het pad naar of van het benedenliggende deel van de Honingerdijk voor voetgangers.

Verder worden de volgende aanvullende aanbevelingen gedaan:

- Haal de doorgaande fietsers richting centrum van (een gedeelte) van de Honingerdijk af door ze onderlangs over de Honingerdijk te leiden.
- Plaats in plaats van borden met adviessnelheden borden verplichte snelheid van 30 A1 met onderbord 'bij nat wegdek' gecombineerd met bord J20 slipgevaar.
- Plaats één van bovenstaande borden-combinaties net vóór de bocht (in plaats van in de bocht) en één waarschuwbord ruim vóór de bocht, zodat bestuurders tijdig kunnen anticiperen.
- Haal het schrikhek dat ervoor kan zorgen dat automobilisten meer naar links (weg van het object) gaan rijden, weg.

7 Referenties

- CROW (2004). *ASVV 2004. Aanbevelingen voor verkeersvoorzieningen binnen de bebouwde kom*. Ede: CROW.
- CROW (2010). *Karakteristieken van voertuigen en mensen*. (CROW-publicatie 279). Ede: CROW
- Brinkman, G. (2009). *Honingerdijk Stroefheidsmetingen*. Rotterdam: Gemeente Rotterdam Gemeentewerken.
- Coutton-Jean, C., Mestre, D.R., Goulon, C. & Bootsma, R.J. (2009). The role of edge lines in curve taking. *Transportation Research Part F*. 12: 483 – 493.
- Horst, A.R.A. van der & Bakker, P.J. (1994). *Effecten van snelheidsbeperkende maatregelen op 80 km-wegen in Drenthe op de dwarspositie van voertuigen*. (Rapport TNO-TM 1994 C-25). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Horst, A.R.A. van der & Ridder, S. de (2007). The Influence of Roadside Infrastructure on Driving Behavior: A Driving Simulator Study. *Transportation Research Record*, 2018. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 36 – 44
- Janssen, W.H., Ridder, S.N. de & Brouwer, R.F.T. (2004). *Summary of driver behaviour and driver interactions with roadside infrastructure*. (RISER Deliverable D02). Göteborg: Chalmers University of Technology.
- KOAC-NPC (2009). *Stroefheidsmetingen op de Honingerdijk in Rotterdam*. (Rapport e0804091-1). Apeldoorn: KOAC-NPC.
- Ridder, S.N de (2005). *The influence of roadside infrastructure on driving behaviour: a driving simulator study*. (TNO-report. TNO-DV3 2005-D 008). Soesterberg: TNO Defence, Security and Safety.
- Tenkink, E. (1989). *The effect of road width and obstacles on speed – and course behaviour*. (TNO report IZF 1989 C-4; in Dutch). Soesterberg, The Netherlands: TNO Institute for Perception.
- Vos, A.P. de, Hoekstra, W. & Pieterse, M.T.J. (1998). *Effects of lane width and physical separation on driver comfort*. (TNO report TM-98-D003). Soesterberg, The Netherlands: TNO Human Factors.
- Website werktuigbouw en tribotechniek: <http://www.werktuigbouw.nl/abc/cof.htm>
- You Tube films van slip incidenten
- <http://www.hartvannederland.nl/?s=honingerdijk>
- <http://www.YouTube.com/watch?v=OnheWlhOb2M&feature=related>
- http://www.YouTube.com/watch?v=5B-_IN_INcs&feature=related
- <http://www.YouTube.com/watch?v=s3OrFnmAhNI&feature=related>
- <http://www.YouTube.com/watch?v=K8EKF6-NtkU&NR=1>
- <http://www.YouTube.com/watch?v=sjk4AJczpSY>
- <http://www.YouTube.com/watch?v=SF5dHK9nQpQ&NR=1>

8 Ondertekening

Soesterberg, maart 2011



ir. G. Sluijsmans
Research manager

TNO



dr. M. De Goede
Auteur

Distributielijst

Onderstaande instanties/personen ontvangen een volledig exemplaar van het rapport.

- 5 ex. Gemeente Rotterdam; Jauko Mutsaers
- 2 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
Informatie- en Documentatiedienst
- 4 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
Business Unit Human Factors,
ir. G. Sluijsmans
dr. M. de Goede
J. Kostense
dr.ir. A.R.A. van der Horst