

AQUAPLANING; ONGEVALLLEN OP NAT WEGDEK

Artikel Natuur en techniek 48 (1980) 2: 98 t/m 117

R-80-6

Ir. A.G. Welleman

Voorburg, 1980

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Samenvatting

De aanwezigheid van (regen)water op een wegdek leidt, behalve tot overlast voor de weggebruiker, ook tot situaties die voor de weggebruiker aanmerkelijk onveiliger zijn dan wanneer het wegdek droog is. Op natte wegdekken is de kans per miljoen gereden kilometers om bij een ongeval gedood te worden voor een automobilist twee- à driemaal zo groot als op droge wegdekken.

In menige situatie kunnen ongevallen op nat wegdek worden veroorzaakt doordat het water dat zich tussen de banden van het voertuig en het wegdek bevindt, niet snel genoeg kan worden afgevoerd.

Er is dus geen sprake meer van direct contact tussen band en wegdek vanwege de waterfilm die zich ertussen heeft gevormd en het voertuig glijdt over deze waterfilm. Dat nu wordt aquaplaning genoemd. Het gebruik van stuur en remmen heeft dan praktisch geen effect meer en kan zelfs bij onjuiste toepassing de situatie extra gevaarlijk maken.

Bestudering van het verschijnsel aquaplaning en van maatregelen ter bestrijding ervan vindt plaats in vele landen. Ook in Nederland. Gebleken is dat bij aquaplaning de volgende factoren een rol spelen:

- de snelheid van het voertuig
- de mate waarin de snelheid van het voertuig af- of toeneemt ten gevolge van respectievelijk remmen en gasgeven
- de verdeling van de rem- danwel aandrijfkrachten over de wielen van het voertuig
- de kenmerken van de banden zoals spanning, profielvorm en profiel- diepte
- de ruwheid van het wegdekoppervlak
- de dikte van de waterlaag die op het oppervlak aanwezig is.

Na een beschrijving van het probleem "aquaplaning" en de behandeling van de factoren die daarbij van belang zijn, wordt tot slot een aantal maatregelen genoemd.

Daarbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de mogelijkheden voor de weggebruiker om de risico's van het rijden op natte wegdekken te beperken en de mogelijkheden die de overheid daartoe heeft.

De weggebruiker kan een bijdrage leveren middels zijn/haar gedrag, maar ook door een goede aandacht voor het voertuig. En dan vooral voor de banden ervan.

De overheid heeft de zorg voor de weg en voor een goede afwatering van het oppervlak daarvan. Maar ook voor het verschaffen van goede informatie aan de weggebruiker met betrekking tot situaties waar ondanks het nemen van andere maatregelen toch nog slipgevaar kan optreden.

Inleiding

Autorijden is een ingewikkelde bezigheid, omdat de bestuurder voortdurend informatie moet inwinnen en verwerken en deze moet omzetten in handelingen zoals sturen, gasgeven of remmen. Onder normale omstandigheden reageert het voertuig daar direct op. Als het wegdek nat is, gebeurt dit soms maar ten dele of in het geheel niet, omdat zich tussen band en wegdek een dun laagje water bevindt. Als dit water niet snel genoeg kan worden weggeperst, gaat het directe contact tussen band en wegdek verloren, zodat het voertuig als het ware over het waterlaagje glijdt. Dit verschijnsel heet aquaplaning.

Naast een beschrijving van het verschijnsel aquaplaning wordt in dit artikel een overzicht gegeven van de factoren die bij aquaplaning een rol spelen en de maatregelen die getroffen kunnen worden om aquaplaning te voorkomen.

Ongevallen op nat wegdek

Het behoeft welhaast geen betoog dat er ongevallen kunnen ontstaan als auto's niet of in geringe mate reageren op remmen of sturen. Dit verschijnsel kan zich voordoen als het wegdek nat is als gevolg van regen. Regen is een verschijnsel waarmee elke Nederlander vertrouwd is. Het regent hier immers "altijd". Uit gegevens van het KNMI blijkt dat het in de jaren 1971 t/m 1976 gemiddeld gedurende bijna 6% van de tijd heeft geregend; dus gemiddeld ongeveer anderhalf uur per dag. De regenduur en -hoeveelheid kunnen weliswaar naar tijd en naar plaats aanzienlijk verschillen, maar binnen Nederland, als vlak gebied, zal de regenduur niet sterk afwijken van het hier genoemde gemiddelde. De tijd dat het wegdek nat was, kunnen we schatten op 12-15%. In die betrekkelijk korte tijd viel echter 28% van het aantal gedode bestuurders en passagiers van motorvoertuigen. Deze cijfers betekenen dat voor bestuurders en passagiers van motorvoertuigen de kans om op een nat wegdek bij een ongeval gedood te worden twee- à driemaal zo groot is als op een droog wegdek. Hierbij is verondersteld dat op nat wegdek verhoudingsgewijs evenveel gereden is als op droog wegdek.

Aquaplaning als ongevalsoorzaak

Aquaplaning betekent: over water glijden. Met de vertaling is al aangegeven wat er in feite gebeurt als het verschijnsel aquaplaning optreedt. Het voertuig glijdt over een waterlaag die het directe contact tussen de banden en het wegdek onmogelijk maakt. De banden oefenen een druk uit op de waterlaag. Druk die wordt uitgeoefend op een vloeistof plant zich in alle richtingen in gelijke mate voort. Dat betekent dat aan de contactdruk tussen de waterlaag en de banden geen wrijvingskrachten kunnen worden ontleend om het voertuig te remmen, te versnellen of van koers te laten veranderen. Met andere woorden: als aquaplaning optreedt is het voertuig onhandelbaar en onbestuurbaar, hetgeen in veel gevallen aanleiding zal geven tot een onveilige verkeerssituatie.

Het krachtenspel tussen band en nat wegdek

Om goed uit te kunnen leggen welke mechanismen bij aquaplaning een rol spelen, is het nodig eerst stil te staan bij de krachten die tussen band en wegdek worden overgebracht bij sturen, gasgeven of remmen. Op deze plaats zal alleen het krachtenspel worden beschreven dat zich afspeelt als de automobilist remt (zie Afbeelding 1).

Een wiel dat zich met een éénparige snelheid voortbeweegt en waarop geen krachten worden uitgeoefend, een vrij rollend wiel dus, heeft een hoeksnelheid, ω_0 , die gelijk is aan de snelheid, v , gedeeld door de straal van het wiel, R , dus

$$v = \omega_0 \cdot R.$$

Een automobilist die op zijn rempedaal trapt, vertraagt de hoeksnelheid van de wielen van zijn voertuig om snelheid te verminderen. De discrepantie tussen ω_0 en de vertraagde hoeksnelheid, ω_r , veroorzaakt slip in het contactvlak tussen band en wegdek. Deze slip gaat gepaard met overdracht van krachten tussen de band en het wegdek. De resultante van deze krachten, F_x , is de remkracht die uiteindelijk de vertraging van het voertuig veroorzaakt ($F_x = \text{massa van de auto} \cdot \text{vertraging}$).

Bij deling van F_x door de verticale wielbelasting, F_z , ontstaat de dimensieloze vergelijkingwaarde μ_x , die de wrijvingscoëfficiënt wordt genoemd. F_z kan naar tijd en plaats aanzienlijk variëren, waarbij de vlakheid van de weg en het massa-veersysteem van het voertuig een belangrijke rol spelen.

Het is van belang om te weten dat de remkracht F_x is opgebouwd uit drie componenten, te weten de adhesiecomponent, de hysteresiscomponent en de cohesiecomponent.

Om twee volkomen gladde oppervlakken over elkaar te bewegen, moet een kracht worden overwonnen, veroorzaakt door de aantrekkingskracht tussen de moleculen van beide oppervlakken. Dit is de adhesiecomponent.

Bij het bewegen van een rubberdeeltje uit het loopvlak van een autoband over een wegoneffenheid zal een kracht nodig zijn om het rubber in te drukken. Deze kracht is groter dan die welke teruggewonnen wordt bij het uitveren van het rubberdeeltje. Dit is het gevolg van de hysteresis van het rubber. De hysteresiscomponent is de resultante van al deze krachten.

Om de samenhang tussen de moleculen van het loopvlakrubber te verbreken zijn er krachten nodig, die gezamenlijk de cohesiecomponent vormen. Deze component speelt pas een rol als de automobilist zo krachtig remt dat er rubberdeeltjes uit het loopvlak van de band op het wegdek achterblijven.

Bij aanwezigheid van water op het wegdek kunnen in het contactvlak van band en wegdek drie zones worden onderscheiden (zie Afbeelding 2).

In zone a is er door de aanwezigheid van een ononderbroken waterlaag een volledige scheiding tussen band en wegdek. In deze zone kunnen geen wrijvingskrachten tussen band en wegdek worden overgebracht.

In zone b wordt deze waterlaag ter plaatse van de toppen van de wegdekoneffenheden doorbroken. In deze zone worden krachten tussen band en wegdek overgebracht ten gevolge van hysteresis. Omdat in de aanrakingsvlakjes nog een zeer dun waterlaagje aanwezig blijft, treden er geen adhesiekrachten op.

In zone c is weliswaar nog water aanwezig, maar in zulke geringe hoeveelheden dat zowel hysteresis- als adhesiekrachten kunnen worden overgebracht tussen band en wegdek.

De omvang van elk van de drie zones wordt door meerdere factoren bepaald.

Visceuze en dynamische aquaplaning

Bij het bespreken van het verschijnsel aquaplaning moet er een onderscheid worden gemaakt tussen visceuze en dynamische aquaplaning.

Bij mist of bij motregen kan op de steentjes van het wegoppervlak een zeer dunne vloeistoffilm (0,01-0,1 mm) ontstaan. De vloeistof bestaat uit een mengsel van stofdeeltjes en olieresten, aangelengd met water. Dit mengsel heeft een hoge viscositeit, d.w.z. een hoge mate van samenhang ten gevolge van een grote inwendige wrijving. Een zeer snelle verwijdering van zo'n vloeistoffilm uit de vele aanrakingspunten tussen band en wegdek vereist grote krachten. Indien de krachten die het wiel op het contactvlak uitoefent, niet groot genoeg zijn kan de situatie ontstaan dat geen direct contact meer bestaat tussen band en wegdek. In feite bestaat dan het hele contactvlak uit zone b. Onder ongunstige omstandigheden, die bij de bespreking van de maatregelen zullen worden genoemd, zijn de wrijvingskrachten ten gevolge van hysteresis zo gering, dat ze onvoldoende zijn om snelheid of koers van het voertuig te beïnvloeden. Er is dan sprake van visceuze aquaplaning.

Deze visceuze aquaplaning leidt ook vaak tot slipongevallen als het na een lange droge periode gaat regenen. De stofdeeltjes en olieresten die zich gedurende een lange periode op het wegdek verzameld hebben, vormen immers juist dan met het regenwater het reeds besproken hoog-visceuze vloeistofmengsel. Na enige tijd zijn de verontreinigingen van het wegdek afgespoeld en zal de kans op ongevallen door visceuze aquaplaning kleiner worden.

Tijdens hevige regenval kan plaatselijk een waterlaag met een dikte van enkele millimeters op het wegdek voorkomen. Wanneer het wegdek

niet geheel vlak is, zal deze waterlaag na de regenval aanwezig blijven op het wegdek (plasvorming). Deze waterlaag moet eerst uit het contactvlak tussen band en wegdek worden verwijderd alvorens er wrijvingskrachten van enige omvang kunnen worden overgebracht. Ten gevolge van de weerstand van het water tegen verplaatsingen (massa-effect) oefent de waterlaag (hydrodynamische) krachten uit op het bandoppervlak. Hoe groter deze krachten zijn, des te groter zal zone a zijn. Een aantal factoren hebben een belangrijke invloed op de grootte van de hydrodynamische krachten. Naarmate de snelheid van het voertuig groter is, moet er per tijdeenheid een grotere hoeveelheid water verplaatst worden. De vorm en de diepte van het bandprofiel en de ruwheid van het wegoppervlak bepalen in sterke mate het drainagevermogen van het contactvlak. Ook de breedte van de band speelt daarbij een rol.

Een combinatie van deze factoren kan er toe leiden dat zone a steeds groter wordt ten koste van de andere twee zones, totdat deze zone het gehele contactvlak omvat. Er is dan sprake van dynamische aquaplaning.

Beide vormen van aquaplaning zijn erg verraderlijk omdat ze een gevolg zijn van een combinatie van factoren. De automobilist kan slechts op een deel van die factoren invloed uitoefenen, terwijl de overige factoren moeilijk waarneembaar en/of meetbaar zijn. Het kan dan ook gebeuren dat een voertuig in een slip verzeild raakt zonder dat de bestuurder enige handeling verricht. De waterlaag tussen band en wegdek is dan bijvoorbeeld plotseling dikker geworden, óf er bevinden zich plaatselijk verontreinigingen zoals olie of klei op het wegdek, óf de ruwheid van het wegoppervlak verandert. Het effect is vergelijkbaar met het effect dat optreedt bij ijzel. Het voertuig gaat spontaan een andere koers volgen en reageert niet meer op gasgeven, remmen of sturen.

Maatregelen ter bestrijding van ongevallen ten gevolge van visceuze aquaplaning

Zowel visceuze als dynamische aquaplaning treedt op als in het contactvlak tussen band en wegdek de krachten ten gevolge van de

druk in de vloeistoffilm gelijk zijn aan de krachten ten gevolge van de verticale wielbelasting. De vloeistofdruk is echter niet gelijkmatig verdeeld over het contactvlak tussen band en wegdek. Op de plaatsen waar de vloeistoffilm het meest wordt samengedrukt, is de druk het grootst. De grootte van deze druk is o.a. afhankelijk van de mogelijkheden die de vloeistof heeft om weg te stromen uit de gebiedjes met hoge waterdruk naar gebiedjes met lagere druk. Naarmate het aantal en de omvang van deze lagedrukgebiedjes groter is, zijn de mogelijkheden voor drukvermindering groter.

Bij visceuze aquaplaning is niet zozeer de hoeveelheid vloeistof in het contactvlak oorzaak van plaatselijke hogedrukgebiedjes, maar de viscositeit van het vloeistofmengsel. Deze viscositeit veroorzaakt een trage afstroming vanuit de hogedrukgebiedjes naar de gebiedjes met lagere druk. Het is daarom belangrijk om de afstand van de hoge- naar de lagedrukgebiedjes zo klein mogelijk te houden. Hieraan kan een bijdrage worden geleverd door het patroon van de profilering van de autobanden. Het is belangrijk dat het bandoppervlak veel groeven heeft die goed verspreid zijn. Ook een groot aantal hoekige steentjes aan het oppervlak van de wegverharding zullen een gunstige invloed hebben.

Behalve deze maatregelen aan band en wegdek wordt het optreden van visceuze aquaplaning ook in belangrijke mate bepaald door de snelheid van het voertuig. De kritieke snelheid is van een aantal factoren afhankelijk, zodat geen vaste waarde te noemen is. Onderzoek heeft wel uitgewezen dat visceuze aquaplaning al kan optreden bij snelheden vanaf 60 km/uur, zonder dat er dan sprake is van extreme situaties. De kritieke snelheid zal lager liggen naarmate grotere rem- of aandrijfkrachten op de wielen worden uitgeoefend.

Echt extreme situaties kunnen optreden als er olieplassen (zelfs op een droog wegdek), klei (tijdens de bietencampagne) of andere verontreinigingen op het wegdek aanwezig zijn. Anderzijds wordt de kans op het optreden van visceuze aquaplaning aanzienlijk vergroot als de verharding van een weg bestaat uit klinkers of kasseien. Onder invloed van het verkeer krijgen deze stenen al spoedig een gepolijst oppervlak.

Factoren die van invloed zijn op het ontstaan van dynamische aquaplaning

Het aantal keren dat motorvoertuigen volledig onbestuurbaar en onhandelbaar worden ten gevolge van dynamische aquaplaning, is betrekkelijk gering. Toch is bestudering van de factoren die van invloed zijn op het ontstaan van dynamische aquaplaning belangrijk. Ongevallen ontstaan immers niet alleen als de beschikbare krachten voor sturen, remmen of versnellen nihil zijn. Het grootste deel van de ongevallen op nat wegdek vindt plaats, omdat de beschikbare wrijvingskrachten kleiner zijn dan de voor de genoemde handelingen benodigde krachten. Dit blijkt ook uit de relatie tussen het ongevallenquotiënt en de stroefheid (Afbeelding 3). In de afbeelding is te zien dat naarmate de stroefheid van het wegdek afneemt, het aantal ongevallen per miljoen verreden kilometers toeneemt. De factoren die van invloed zijn op het ontstaan van ongevallen als gevolg van een te lage wrijving, zijn dezelfde als die welke leiden tot het ontstaan van dynamische aquaplaning. Een aantal van de invloedsfactoren wordt hierna besproken.

De snelheid van het voertuig

Naarmate de snelheid van een voertuig groter is, zal er per tijdseenheid een grotere hoeveelheid water uit het contactvlak tussen band en wegdek moeten worden verwijderd. De afvoer van het grootste deel van het water vindt plaats in zone a (Afbeelding 2). De hydrodynamische krachten in de wigvormige waterlaag in deze zone zullen groter zijn als de snelheid groter is. Dat betekent dat de reactiekrachten van deze wig op de band eveneens toenemen. Met het toenemen van de snelheid wordt de waterwig in zone a dus als het ware met meer kracht tussen band en wegdek gedreven. Met de snelheid neemt dan ook de omvang van deze zone toe.

Dit gaat ten koste van de omvang van de zones b en c. Bovendien wordt het deel van de wielbelasting dat op deze zones wordt uitgeoefend, kleiner ten gevolge van de verticale component van de krachten die de waterwig in zone a op de band uitoefent. Met het afnemen

van de normaalkracht op de zones b en c worden dan ook de beschikbare krachten voor sturen, remmen en versnellen kleiner. Afbeelding 4 geeft een indruk van de afname van deze krachten bij toenemende snelheid, althans voor zover het natte wegdekken betreft. En daar gaat het hier over.

Veranderingen in de snelheid van het voertuig

Bij een vrij rollend wiel is de snelheid van het bandoppervlak gelijk aan de voertuigsnelheid. Als een automobilist remt, wordt de omtreksnelheid van de band kleiner dan de snelheid van het wegdek ten opzichte van het voertuig. Als zich op het wegdek water bevindt, veroorzaakt dit snelheidsverschil - deze wielslip - opstuwning van het water dat zich in zone a bevindt. De opstuwning vergroot de hydrodynamische krachten. Zoals reeds eerder is aangegeven, betekent dit dat de omvang van zone a toeneemt. Hieruit mag geconcludeerd worden dat bij een geremd wiel dynamische aquaplaning bij een lagere snelheid zal optreden dan bij een vrij rollend wiel. Bovendien is deze snelheid lager naarmate er harder geremd wordt.

Ook als een automobilist gas geeft, ontstaat er slip in het contactvlak tussen band en wegdek. Deze wielslip bemoeilijkt het uitstromen van het water aan de achterzijde van het contactvlak. Daar ontstaat als het ware een tweede zone a. Dit betekent dat dynamische aquaplaning ook in het geval van een aangedreven wiel bij een lagere snelheid zal optreden dan bij een vrij rollend wiel.

Dus zowel remmen als gasgeven verhoogt de kans op het optreden van dynamische aquaplaning.

Bandkenmerken zoals profielvorm, profieldiepte en bandspanning

Bij de behandeling van het verschijnsel visceuze aquaplaning is al aangegeven dat een goede profielvorm van het bandoppervlak belangrijk is om het op het wegdek aanwezige water zo snel mogelijk uit het contactvlak tussen band en wegdek weg te kunnen persen. Om de hydrodynamische druk in zone a en daarmee de kans op het op-

treten van dynamische aquaplaning zoveel mogelijk te beperken, is weliswaar ook de profielvorm van belang, maar meer nog de profiel-diepte. Deze bepaalt voor een deel de drainagecapaciteit van het bandoppervlak (een ander deel wordt bepaald door de ruwheid van het wegoppervlak). Naarmate de groeven in het bandoppervlak dieper zijn, zal het water sneller kunnen wegstromen en zullen de hydrodynamische krachten in zone a kleiner zijn. De drainagecapaciteit neemt sterker af als de profieldiepte kleiner is geworden dan 2 mm. De bandspanning speelt hier ook een rol, omdat deze mede de vlaktedruk bepaalt in het contactvlak tussen band en wegdek. De bandspanning bepaalt bij nat wegdek dus ook de omvang van de hydrodynamische krachten in zone a. Een goede keuze van de bandspanning is dus van belang.

Een hogere bandspanning dan door de fabrikant aanbevolen heeft weliswaar een reducerende werking op zone a, maar is pas effectief als de wielbelasting ook zodanig wordt aangepast dat de lengte van het contactvlak gelijk blijft. Immers, als de contactlengte kleiner wordt neemt ook de tijd die beschikbaar is voor het wegpersen van water uit de contactzone af.

Een te lage bandspanning is alleen toelaatbaar in combinatie met een lagere wielbelasting. Omdat die laatste meestal niet te realiseren is, betekent een te lage bandspanning veelal een verbreding van het contactvlak, hetgeen het wegpersen van water uit zone a van het contactvlak bemoeilijkt. Dit is de reden dat met het oog op dynamische aquaplaning het gebruik van brede banden problemen kan geven als niet wordt gecompenseerd, bijvoorbeeld door het toepassen van bredere groeven in het loopvlak.

De ruwheid van het wegoppervlak

De ruwheid van een wegoppervlak wordt ook wel de textuur genoemd, waarbij een onderscheid gemaakt kan worden tussen macro- en micro-textuur. Afbeelding 5 geeft een schematisch overzicht van verschillende texturen. Naarmate de macrottextuur van een wegdek grover is, zal de drainage van het water uit het contactvlak tussen band en wegdek beter zijn. Dit komt de krachten tussen band en wegdek zeer ten

goede, doordat zone a beperkt van omvang blijft. Een goede microtextuur heeft vooral een reducerende werking op de omvang van zone b. Onderzoek heeft uitgewezen dat de omvang van de wrijvingskrachten bij lage snelheid hoger zullen liggen naarmate de microtextuur ruwer is. Bij toenemende snelheid zullen de wrijvingskrachten minder afnemen naarmate de macrottextuur grover is. Hieruit kan worden afgeleid dat juist een combinatie van ruwe microtextuur en een grove macrottextuur van belang is voor een goede krachtenoverdracht tussen band en wegdek. Onder extreme omstandigheden is deze combinatie ook van belang om het optreden van dynamische aquaplaning te vermijden.

Uit het resultaat van metingen die zijn verricht door het Nederlandse Rijkswegenbouwlaboratorium kan een globale indruk verkregen worden van de invloed van de ruwheid van het wegoppervlak.

Bij een met behulp van epoxybitumen zeer glad gemaakt wegoppervlak kan dynamische aquaplaning al bij een snelheid van 50 à 60 km/uur optreden, zelfs bij waterlagen met een dikte van nog geen millimeter. Als hetzelfde epoxybitumen is afgestrooid met gebroken steentjes die een diameter hebben van 5-8 mm, ontstaat een wegdek met een zeer grove macrottextuur en een ruwe microtextuur. Zelfs bij een snelheid van 120 km/uur en bij waterlagen met een dikte tot 6 à 8 mm treedt dan nog geen dynamische aquaplaning op.

De dikte van de waterlaag op het wegdek

Dat de aanwezigheid van water op het wegdek een ongunstige invloed heeft op de wrijvingskrachten tussen band en wegdek, is wel gebleken. Van belang is echter welke hoeveelheid water nog toelaatbaar is. Een vaak gehanteerde maat voor deze hoeveelheid is de dikte van de gesloten waterfilm boven de toppen van de oneffenheden van het wegdek. Uit de resultaten van metingen, uitgevoerd zowel in Nederland als in andere landen, blijkt dat de wrijvingskrachten al bij een waterlaagdikte van 2 à 3 mm een minimum bereiken; zie ter illustratie Afbeelding 6. Bij toename van de waterlaagdikte boven deze grens nemen de beschikbare krachten dus niet of nauwelijks meer verder af. Dit geldt globaal voor elke snelheid van het voertuig en voor elk soort verhardingsopper-

vlak. Deze waarde van 2 à 3 mm betekent in feite dat plasvorming op het wegdek zoveel mogelijk vermeden moet worden, omdat een plas al snel een diepte van een paar milimeter heeft.

Plassen komen o.a. voor als er onder invloed van het verkeer rijsporen zijn ontstaan, waarin zich bij regenval water verzamelt. Ook andere oneffenheden in of op het verhardingsoppervlak kunnen plasvorming veroorzaken. Plasvorming kan ook ontstaan als de wegsituatie een goede afwatering onmogelijk maakt. Dit is bijvoorbeeld het geval op grote kruispunten van wegen of als de verkanting (dwars-helling) van de weg zeer klein is. Dat laatste treedt op bij zogenaamde verkantingsovergangen die gelegen zijn tussen twee opeenvolgende tegengestelde bogen (Afbeelding 7). Behalve dat de verkanting daar gering is, is er bovendien de lengte van de afvoerweg van het water zeer lang. Deze combinatie veroorzaakt bij regenval dikke waterlagen.

Maatregelen ter bestrijding van ongevallen ten gevolge van dynamische aquaplaning

Om de kans op dynamische aquaplaning zo klein mogelijk te maken kunnen verschillende maatregelen worden genomen. Deze betreffen de mens, het voertuig en de weg. Zowel de individuele weggebruiker als de overheid hebben mogelijkheden om de kans op ongevallen ten gevolge van dynamische aquaplaning te verkleinen. De mogelijkheden van de weggebruiker betreffen de factoren "mens" en "voertuig", de overheid heeft daarnaast ook belangrijke mogelijkheden om de factor "weg" te beïnvloeden.

Maatregelen die de weggebruiker kan nemen

De belangrijkste mogelijkheid van de individuele weggebruiker om de kans op een ongeval op nat wegdek te vermijden is gelegen in de keuze van de voertuigsnelheid. Dynamische aquaplaning kan immers al optreden bij snelheden rond de 80 km/uur zonder dat van extreme situaties sprake is. Maar ook als dat verschijnsel niet optreedt, moet de automobilist er rekening mee houden dat de lengte van de

remweg op een nat wegdek een veelvoud kan zijn van die op een droog wegdek.

Ten behoeve van een goede informatieverschaffing moet het uitzicht van de automobilist goed zijn, vooral tijdens regenval. Schoonhouden van de ruiten aan buiten- en binnenzijde, ook met behulp van ruitewissers en achterruiwverwarming is dus van belang. Om door andere weggebruikers goed gezien te worden, is het van belang om bij regen ook overdag de dimlichten te laten branden.

Een andere groep maatregelen kan er toe bijdragen dat de beschikbare wrijving tussen band en wegdek groter wordt of minder sterk daalt. Deze maatregelen betreffen vooral de banden van het voertuig.

Bij de keuze van de band dient vooral gelet te worden op de profielvorm. De band moet veel, goed verspreide groeven hebben. Als de profieldiepte te klein wordt (en dan behoeft men niet per sé te wachten tot de wettelijk nog toegestane waarde van 1 mm is bereikt) dient een band vervangen te worden. Daarnaast is een regelmatige controle van de bandspanning gewenst, omdat slappe banden de kans op dynamische aquaplaning verhogen.

Maatregelen die de overheid kan nemen

De meeste maatregelen betreffende de mens en het voertuig heeft de overheid in het verleden langs wetgevende weg reeds genomen. Zowel bestuurders als voertuigen moeten aan een aantal wettelijke vereisten voldoen. Beïnvloeding van het gedrag van verkeersdeelnemers door het opstellen van wettelijke voorschriften is slechts effectief bij een zeer uitgebreid politie- en justitie-apparaat ter controlering en bestraffing. Dit blijkt bijvoorbeeld bij het naleven van de maximumsnelheid van 100 km/uur. Bij gebrek aan controle door de politie wordt deze maatregel door de meeste weggebruikers nauwelijks serieus genomen. Het instellen van een maximumsnelheid bij regenval lijkt dan ook een weinig zinvolle zaak.

Bij het nemen van maatregelen aan de weg heeft de overheid een grote vrijheid van handelen. Het ontwerp van de weg is in handen

van de overheid, de aanleg wordt uitgevoerd volgens strenge overheidsvoorschriften en het onderhoud van de weg valt bijna volledig onder de verantwoordelijkheid van de gemeentelijke, de provinciale of de landelijke overheid. Als er dan ook met het oog op dynamische aquaplaning maatregelen aan de weg getroffen moeten worden, is de overheid daarop aanspreekbaar.

Bij het ontwerp van een weg moet nagestreefd worden dat de weggebruiker geen onverwachte sturbewegingen hoeft te maken of drastisch snelheid moet minderen. Dit kan onder andere bereikt worden door een goede informatieverschaffing door middel van duidelijke borden, bakens en markeringen, waardoor de weggebruiker in staat gesteld wordt de vóór hem gelegen wegsituatie te voorspellen. De plaatsen waar de weggebruiker vaak moet remmen zijn onder andere: kruispunten, uitvoegstroken, plaatsen waar regelmatig files optreden. Men dient te vermijden dat deze locaties komen te liggen in bochten of op neerwaartse hellingen, omdat daar grotere wrijvingskrachten nodig zijn om te kunnen remmen. Juist ook op die plaatsen moet vermeden worden dat plassen op het wegdek voorkomen.

Bij de aanleg van een weg dient voor de bovenste verhardingslaag materiaal te worden gebruikt dat garanties biedt voor een goede micro- en macrotextuur van het wegdek. Het verhardingsoppervlak dient een goede afwatering mogelijk te maken. Een verhardingsmateriaal met zeer goede drainage-eigenschappen is het zogenaamde zeer open asfaltbeton. Een wegdek met een bovenlaag van dit materiaal vangt het regenwater op, bergt het in de \pm 20% holle ruimte en voert het door deze onderling verbonden holle ruimtes af naar de berm. Een technisch ideaal lijkende oplossing, dus die bovendien economisch aantrekkelijk is. Problemen met het dichtslibben van de holle ruimtes en met de gladheidsbestrijding 's winters (het strooizout zakt erin weg) zijn er de oorzaak van dat toepassing van dit materiaal nog slechts bij uitzondering plaats vindt. Verder onderzoek wordt verricht.

Het verhardingsoppervlak dient bij aanleg ook vlak te zijn. Door een goede bewerking van de ondergrond en de juiste keuze van de op-

bouw van de totale verharding kan worden bereikt dat het verhardingsoppervlak ook vlak blijft gedurende de verdere levensduur. Dat op veel wegen, ondanks het hierboven gestelde, bij regen toch plassen kunnen voorkomen, komt omdat een technisch ideale oplossing meestal economisch niet haalbaar is.

De voor het onderhoud van de weg verantwoordelijke instanties worden in hun dagelijkse praktijk regelmatig met onvolkomenheden aan de verharding geconfronteerd. Afhankelijk van de aard hiervan kunnen een aantal technische maatregelen worden toegepast.

Onvlakheden in het wegoppervlak kunnen worden verwijderd door de "dalen" op te vullen of door de "toppen" weg te frezen. Als de verharding naast onvlakheid van het oppervlak ook constructieve gebreken vertoont, kan bovendien nog een nieuwe toplaag worden aangebracht.

Naarmate regenwater een grotere afstand tot de berm moet afleggen, zal de dikte van de waterlaag groter zijn. Indien de afvoer van het water plaats vindt langs lijnen die ongeveer parallel lopen aan de rijrichting, kan wateroverlast ontstaan. Dit komt bijvoorbeeld voor bij verkantingsovergangen (Afbeelding 7). Door dwars op de rijrichting gootjes aan te brengen kan de afvoerlengte en daarmee de wateroverlast drastisch worden beperkt. Op een aantal plaatsen in Nederland functioneren deze gootjes, die 4 à 5 cm diep en breed zijn, naar tevredenheid.

Om de macrotextuur te verbeteren worden soms groeven gefreesd in het verhardingsoppervlak. Als de toplaag uit asfaltbeton bestaat, is de levensduur van deze groeven, afhankelijk van verkeersintensiteit en -samenstelling, niet groot. Bij een toplaag van cementbeton gaan deze groeven wel lang mee. Vanwege de negatieve invloed op het rijgedrag van motorrijders vindt toepassing van langsgroeven niet vaak plaats. Groeven dwars op de rijrichting zijn wel wat duurder bij aanleg, maar daar staan betere reflectie-eigenschappen van het wegdek en een veiliger wegsituatie voor motorrijders tegenover. Het verbeteren van de macrotextuur kan ook gebeuren door met een bindmiddel op bituminen-basis steentjes op het verhardingsoppervlak aan te brengen. Toepassing van zo'n "oppervlaktebehandeling" vindt

op grote schaal plaats. Door een onzorgvuldige uitvoering of plotselinge weersverandering tijdens het aanbrengen kan echter een oppervlaktebehandeling volkomen mislukken. Bovendien geven niet of nog niet gebonden steentjes, vooral kort na het aanbrengen ervan, kans op breuk van autoruiten. Kunsthars als bindmiddel ondervangt deze bezwaren grotendeels. Een oppervlaktebehandeling met kunsthars als bindmiddel heeft ook een grotere levensduur, maar vanwege de hoge kosten vindt toepassing slechts op zeer beperkte schaal plaats.

Uit de zojuist gegeven beschrijving van een aantal onderhoudsmaatregelen mag blijken dat maatregelen aan de weg ter bestrijding van dynamische aquaplaning technisch realiseerbaar zijn.

LITERATUUR

Harris, A.J. "Road surface texture and the slipperiness of wet roads". Highway Research Record 214, blz. 18-23. Highway Research Board, Washington, D.C., 1968.

Horne, W.B. "Tire hydroplaning and its effects on tire traction". Highway Research Record 214, blz. 24-33. Highway Research Board, Washington, D.C., 1968.

Moore, D.F. "A theory of viscous hydroplaning". International Journal of Mechanical Sciences 9 (1967) blz. 797-810.

Moore, D.F. "An elastohydrodynamic theory of tire skidding". In: Proc. 12th International Fisita Congress, Barcelona, May 1968.

SWOV (L.H.M. Schlösser). "Verkeersongevallen en wegdekstroefheden". Een onderzoek naar de statistische relatie tussen de stroefheid van het wegdek en de relatieve onveiligheid. Samenvatting van het research rapport van Subcommissie V van de Werkgroep Banden, Wegdekken en Slipongevallen. R-75-12. SWOV, Voorburg, 1975.

Welleman, A.G. "Water op de weg". Publikatie L. Stichting Studiecentrum Wegenbouw, Arnhem, 1977.

Welleman, A.G. "Water nuisance and road safety". In: OECD 1978 Symposium on Road drainage, Bern, 1978, pp. 82-95. OECD, Paris, 1978.

AFBEELDINGEN 1 T/M 7

Afbeelding 1. Het krachtenspel bij remmen.

Afbeelding 2. Het contactvlak tussen een band en een nat wegdek.

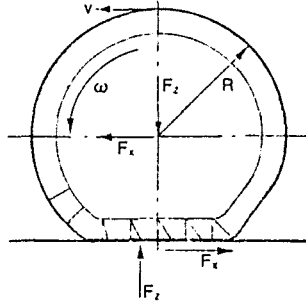
Afbeelding 3. Verband tussen stroefheid en ongevallenquotiënt voor rijkswegen in 1965 en 1966.

Afbeelding 4. De afname van de beschikbare wrijvingskrachten bij toename van de voertuigsnelheid. De ononderbroken lijnen gelden voor een droog wegdek. De lijnen hebben betrekking op zeer open asfaltbeton (1) en op open asfaltbeton (2).

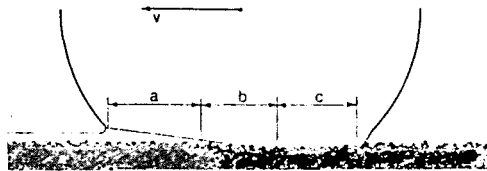
Afbeelding 5. Verschillende wegoppervlakken met micro- en macro-textuur.

Afbeelding 6. De beschikbare wrijvingskracht tussen band en wegdek als functie van de waterlaagdikte voor een viertal verhardingsoppervlakken bij snelheden van ± 65 km/uur en ± 100 km/uur.

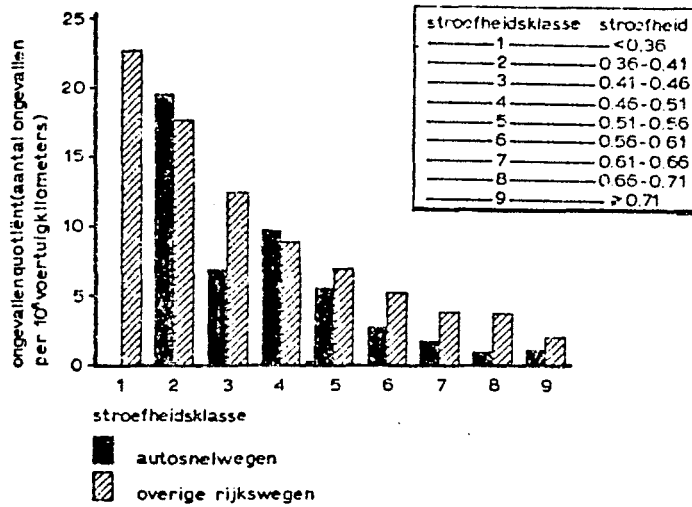
Afbeelding 7. De stroomlijnen waarlangs regenwater afvloeit naar de berm ter plaatse van een verkantingsovergang in een helling.



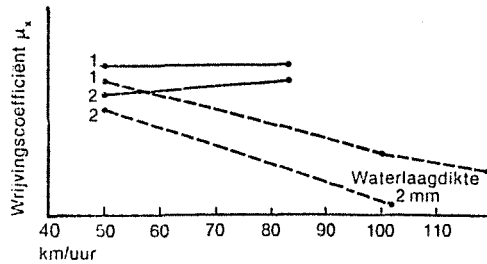
Afbeelding 1. Het krachtenspel bij remmen.



Afbeelding 2. Het contactvlak tussen een band en een nat wegdek.



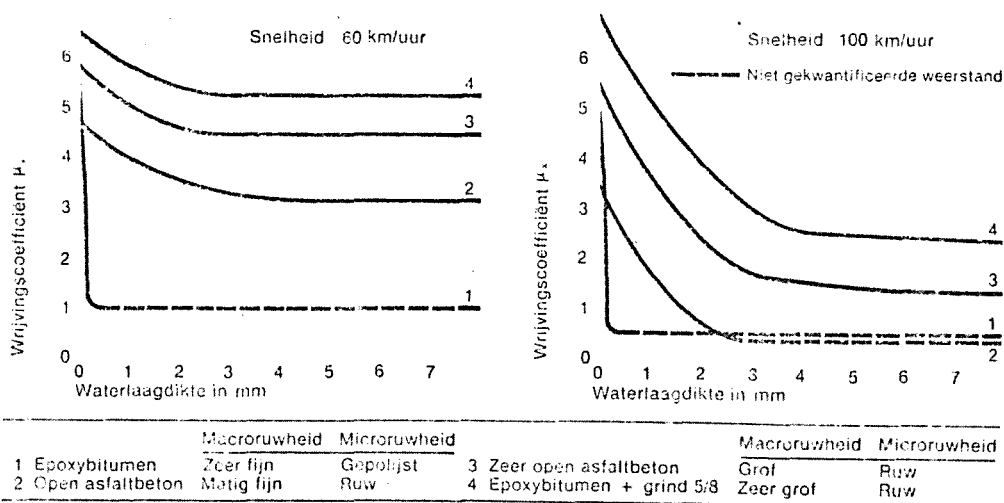
Afbeelding 3. Verband tussen stroefheid en ongevallenquotiënt voor rijkswegen in 1965 en 1966.



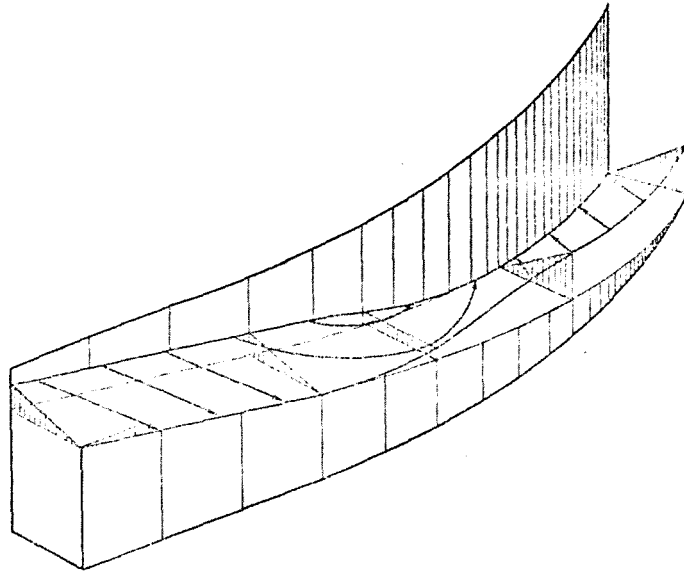
Afbeelding 4. De afname van de beschikbare wrijvingskrachten bij toename van de voertuigsnelheid. De ononderbroken lijnen gelden voor een droog wegdek. De lijnen hebben betrekking op zeer open asfaltbeton (1) en op open asfaltbeton (2).

Wegoppervlak	Textuur	
	Macro schaal	Micro schaal
	Grof	Ruw
	Grof	Gepolijst
	Fijn	Ruw
	Fijn	Gepolijst

Afbeelding 5. Verschillende wegoppervlakken met micro- en macrotextuur.



Afbeelding 6. De beschikbare wrijvingskracht tussen band en wegdek als functie van de waterlaagdikte voor een viertal verhardingsoppervlakken bij snelheden van ± 65 km/uur en ± 100 km/uur.



Afbeelding 7. De stroomlijnen waarlangs regenwater afvloeit naar de berm ter plaatse van een verkantingsovergang in een helling.