

slipongevallen

Beschouwingen over eigenschappen van wegdekken en voertuigen

Een overzicht van de stand van zaken

Voorlopige aanbeveling ten aanzien van de stroefheid van wegdekken

Een onderzoekprogramma

EERSTE INTERIMRAPPORT

VAN DE SWOV-WERKGROEP BANDEN, WEGDEKKEN EN SLIPONGEVALLEN

1969

STICHTING WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK VERKEERSVEILIGHEID

1969-4

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid
Deernsstraat 1 - Postbus 3071 - Voorburg - Nederland

Inhoud

	Blz.
Samenstelling SWOV-werkgroep Banden, wegdekken en slipongevallen	7
Voorwoord	9
Samenvatting	11
1 Inleiding	13
2 Minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten	15
2.1 Menselijke factoren	15
2.2 Wegfactoren	16
2.3 Voertuigfactoren	16
2.3.1 Aandrijven	17
2.3.2 Remmen	17
2.3.3 Doorlopen van bogen	18
2.3.4 Conclusie	19
2.4 Verkeersfactoren	19
2.5 Weersfactoren	19
3 Beschikbare wrijvingskrachten	21
3.1 Gebruikte symbolen en definities	21
3.2 De wrijvingskrachten op een droog wegdek	22
3.3 De wrijvingskrachten op een nat wegdek	24
3.4 Bijzondere omstandigheden	27
4 Methoden voor het meten van de beschikbare wrijvingscoëfficiënten	29
4.1 Meetcondities	29
4.2 Meetmethoden	30
4.2.1 Het meten met een geblokkeerd wiel	30
4.2.2 Het meten van de maximale remkrachtcoëfficiënt d.m.v. een blokkeerprocedure	30
4.2.3 Het meten met een vast percentage langsslip	30
4.2.4 Het meten met een scheefgesteld wiel	31

4.2.5	Het meten van de remweg of de remvertraging	31
4.2.6	Het meten met een slingerapparaat	31
4.3	De invloed van de testband op de meetresultaten	33
4.4	Criterium voor de stroefheid van de weg	33
5	Interpretatie van de resultaten van stroefheidsmetingen	35
5.1	Algemeen	35
5.2	Duitsland	36
5.3	Engeland	38
5.4	Verenigde Staten (Texas)	40
5.5	Nederland	42
5.6	Beschouwing over de resultaten van de besproken onderzoeken	48
5.6.1	Inleiding	48
5.6.2	Criterium voor het signaleren van slipongevallen	48
5.6.3	De invloed van de verkeersintensiteit	49
5.6.4	De invloed van de wegsituatie	50
5.6.5	De keuze van de in het onderzoek betrokken invloedsgrootheden	50
5.6.6	De keuze van de richtwaarde voor de stroefheid	50
6	Consequenties voor Nederland	52
6.1	Verminderen van de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten	52
6.2	Verhogen van de beschikbare wrijvingskrachten	53
7	Onderzoekprogramma van de werkgroep Banden, wegdekken en slipongevallen	55
7.1	Inleiding	55
7.2	Experimenteel onderzoek	56
7.2.1	Onderzoeken naar de beschikbare wrijvingskrachten	56
7.2.2	Onderzoeken naar de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten	57
7.3	Statistisch onderzoek naar ongevallen	57
7.3.1	Statistisch onderzoek naar het verband tussen de stroefheid en de ongevallenkans	57
7.3.2	Statistisch multifactoronderzoek naar de eerste orde factoren	58
7.4	Prioriteitenbepaling van de onderzoeken	59
7.5	Overzicht van de onderzoeken	59
7.5.1	Tabellarisch overzicht van het onderzoekprogramma	59
7.5.2	Schematische weergave van het onderzoekprogramma	60
8	Literatuur	62

Samenstelling SWOV-werkgroep Banden, wegdekken en slipongevallen

Prof. Dr. Ir. A. J. Wildschut, voorzitter
Afdeling Weg- en Waterbouwkunde van de Technische Hogeschool te Delft

Ir. R. A. Brzesowsky
Afdelingen Bestratingen, Dienst der Publieke Werken te Amsterdam

Ir. P. M. W. Elsenaar
Rijkswegenbouwlaboratorium

Ir. B. T. Han
Laboratorium voor Wegen en Spoorwegen van de Technische Hogeschool te Delft

Ir. H. G. Paar, secretaris ¹⁾
Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

Dr. Ir. H. B. Pacejka ²⁾
Laboratorium voor Voertuigtechniek van de Technische Hogeschool te Delft

B. W. Quist
Onderafdeling Wegverkeer ter Hoofddirectie van de Waterstaat

Ir. M. Slop
Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

¹⁾ Tot 1 juli 1967 berustte het secretariaat van de werkgroep bij de heer J. C. A. Carlquist, Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid.

²⁾ Tot 2 mei 1967 had voor het Laboratorium voor Voertuigtechniek Ir. P. Buis zitting in de werkgroep.

Ir. E. Asmussen, directeur van de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid woonde een aantal vergaderingen bij.

Voorwoord

Het verschijnsel slippen van voertuigen wordt algemeen beschouwd als een factor die belangrijk bijdraagt tot het ontstaan van verkeersongevallen.

Hoe groot de omvang van het verschijnsel is, kan men echter moeilijk vaststellen. Dit komt doordat:

- a) het slippen in de ongevallenregistratie geen eénduidig gedefinieerd begrip is;
- b) niet bij ieder ongeval specifiek onderzocht wordt of het slippen al dan niet een rol heeft gespeeld.

In de statistieken gebaseerd op de ongevallenregistratie zal waarschijnlijk een onderschatting van het slippen optreden, omdat alleen de duidelijke slipongevallen als zodanig worden geregistreerd. (Een dergelijk verschijnsel treedt op bij alle ongevalsoorzaken).

Ondanks de vele onderzoeken betreffende de mate waarin de verschillende factoren die een rol spelen bij het slippen van invloed zijn, is – zoals door het Laboratorium voor Voertuigtechniek destijds naar voren is gebracht – het inzicht in deze materie nog onvoldoende.

Deze overwegingen hebben de Minister van Verkeer en Waterstaat in mei 1966 doen besluiten de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid te verzoeken een onderzoek in te stellen naar de omvang van het verschijnsel slippen en naar de invloed van de verschillende factoren die een rol spelen bij het slippen.

Het bestuur van de SWOV heeft naar aanleiding van dit verzoek de werkgroep Banden, wegdekken en slipongevallen ingesteld. In deze werkgroep hebben vertegenwoordigers van de volgende instanties zitting:

de Hoofddirectie van de Waterstaat;

het Rijkswegenbouwlaboratorium;

het Laboratorium voor Voertuigtechniek van de TH-Delft;

het Laboratorium voor Wegen en Spoorwegen van de TH-Delft;

de Dienst der Publieke Werken van de gemeente Amsterdam;

de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid.

De onderzoekopdracht aan de werkgroep is als volgt geformuleerd:

1. Inventarisatie van de technische (voertuig-, weg-)factoren die van invloed kunnen zijn op slipongevallen
2. Een onderzoek naar de mate waarin deze technische factoren in feite het ont-

staan van slipongevallen beïnvloeden, met andere woorden, een classificatie van eerste en tweede orde factoren.

3. Een onderzoek naar de verbeteringen die aan deze technische omstandigheden kunnen worden aangebracht en waarvan een gunstige invloed op het voorkomen van slipongevallen mag worden verwacht.

4. Het ontwikkelen of aanpassen van meetapparatuur, waarmee op eenvoudige wijze de wegdekeigenschappen die van invloed zijn op het ontstaan van slipongevallen kwantitatief kunnen worden bepaald.

Het voorliggende rapport is bedoeld als eerste interim-rapport van de werkgroep. Het is voor een belangrijk deel gebaseerd op gegevens en de ervaring van het Laboratorium voor Voertuigtechniek van de TH-Delft en van het Rijkswegenbouwlaboratorium. Hierbij moge worden verwezen naar hoofdstuk 8 Literatuur: 8.1 ; 8.2.; 8.3.; 8.5.

maart 1969

Prof. Dr. Ir. A. J. Wildschut
Voorzitter van de SWOV-werkgroep
Banden, wegdekken en slipongevallen

Samenvatting

Het slippen wordt beschouwd als een belangrijke bijdragende factor bij het ontstaan van verkeersongevallen.

Dit slippen kan in beginsel op twee manieren worden voorkomen, nl. door:

- a) het verminderen van de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten;
- b) het verhogen van de beschikbare wrijvingskrachten.

De minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten zijn afhankelijk van het wenselijk verkeersgedrag, dat in hoofdzaak wordt beïnvloed door factoren met betrekking tot de weg, het voertuig, het overige verkeer en het weer. De beschikbare wrijvingskrachten zijn afhankelijk van de aard van het contact tussen band en wegdek. Uit verscheidene onderzoeken is reeds gebleken dat onder meer de stroefheid van het wegdek invloed uitoefent op de kans op slippen en daarmee op de kans op een ongeval. Welke waarde voor de stroefheid van een wegdek als minimaal noodzakelijk moet worden beschouwd, is op grond van deze onderzoeken echter nog niet met zekerheid vast te stellen.

Toch acht de werkgroep Banden, wegdekken en slipongevallen, het van zeer veel belang dat nu reeds een bepaalde – zij het voorlopige – minimumwaarde voor de stroefheid van de wegdekken van alle Nederlandse wegen wordt aanbevolen.

Zij komt tot de conclusie dat – mede uit overwegingen van uniformiteit – de reeds vele jaren voor rijkswegen en sinds enige tijd voor secundaire wegen door het Rijkswegenbouwlaboratorium gehanteerde richtwaarde als voorlopige richtwaarde voor de stroefheid van alle wegen in Nederland aan te bevelen is. Deze minimumstroefheid voor een nat wegdek, uitgedrukt in de wrijvingscoëfficiënt, gemeten met een gestandaardiseerde, geprofileerde meetband bij 86% langsslip en 50 km/h rijnsnelheid is 0,51.

Tevens is de werkgroep van mening dat voor een definitief vast te stellen aan te bevelen waarde nog meer onderzoek moet worden gedaan.

Ook zal gezocht moeten worden naar nog andere concrete maatregelen, waardoor de omvang van het verschijnsel slippen kan worden verminderd. Hiertoef wordt een onderzoekprogramma voorgesteld.

1 Inleiding

De weg, het voertuig en de mens zijn hoofdfactoren van één systeem, het verkeer. Hoewel er duidelijke interacties bestaan tussen de weg, het voertuig, de verkeerssituatie en de mens, wordt het uiteindelijke, al dan niet gevaarlijke gedrag in het verkeer door de mens bepaald.

Uitgaande van dit menselijke gedrag is het mogelijk de grootte te bepalen van de parameters van de uitwendige factoren – daaronder wordt verstaan de weg, het voertuig en de verkeerssituatie – die minimaal noodzakelijk zijn om het voertuig onder controle te houden.

Deze waarden van de parameters worden per definitie genoemd:

- a) de minimaal noodzakelijke eigenschappen van de weg;
- b) de minimaal noodzakelijke eigenschappen van het voertuig;
- c) de minimaal noodzakelijke eigenschappen van de verkeerssituatie;

Hoewel de grootte van al deze minimaal noodzakelijke eigenschappen in hoofdzaak door het menselijk verkeersgedrag wordt bepaald – dat op zijn beurt beïnvloed wordt door de informatieve eigenschappen van weg, voertuig en verkeerssituatie – zullen ook de beperkende eigenschappen van de weg en het voertuig hierbij een rol spelen.

Aan de andere kant is het van belang, de werkelijk beschikbare eigenschappen van voertuig en weg te definiëren.

Een ongeval – dat te zien is als het gevolg van een verstoring van het systeem – zal plaatsvinden wanneer de voor het verkeersgedrag minimaal noodzakelijke waarde van een eigenschap de beschikbare waarde overtreft.

Het accent van veiligheidsmaatregelen kan daarom zowel gericht zijn op het in gunstige zin beïnvloeden van de minimaal noodzakelijke eigenschappen – bijvoorbeeld door te trachten het risiconemend gedrag van de verkeersdeelnemer te beïnvloeden – als op het verbeteren van de beschikbare eigenschappen. De veiligheid neemt toe wanneer de marge tussen beide grootheden verruimd wordt. Deze gedachtengang kan ook worden toegepast op het probleem van het slippen.

Op een rijdend voertuig werken verschillende uitwendige krachten die veelal de door de bestuurder verlangde bewegingen van het voertuig tegenwerken.

Dit zijn bijvoorbeeld rol-, lucht- en hellingweerstand, optredende traagheidskrachten bij het versnellen, vertragen en van richting veranderen, en krachten ten gevolge van zijwind en dwarshelling van de weg.

Om deze krachten te overwinnen, dus om het voertuig de door de bestuurder verlangde bewegingen te doen uitvoeren, zijn aandrijf-, rem- en dwarskrachten nodig, die werken in het contactvlak tussen de band en het wegdek. Deze zouden dus kunnen definiëren als de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten, behorende bij die verlangde beweging. De aard van het contactvlak tussen band en wegdek bepaalt de grenzen van die krachten. Indien de minimaal noodzakelijke (horizontale) krachten groter zijn dan de grenswaarden van de wrijvingskrachten tussen band en wegdek – de beschikbare wrijvingskrachten – zal slippen optreden.

Slippen is te definiëren als een voertuigbeweging, waarbij glijden van één of meer wielen optreedt. Dit kan zich manifesteren in:

- a) grote afwijkingen van de gewenste baan;
- b) een draaiende beweging om de verticale as;
- c) doorglijden met geblokkeerde wielen.

Deze bewegingen – welke de bestuurder veelal verrassen – kunnen leiden tot een ongeval, omdat het voertuig in deze omstandigheden moeilijk of in het geheel niet onder controle kan worden gehouden.

De kans op slippen kan in principe op een verkeerstechnische en op een constructieve wijze worden verminderd:

1. Door er zorg voor te dragen dat de weggebruiker geen grotere wrijvingskrachten nodig heeft dan werkelijk beschikbaar zijn. Dit kan door het in gunstige zin beïnvloeden van het verkeersgedrag van de weggebruiker, door verbetering van de informatieve eigenschappen van de weg en het voertuig, door de bestuurder te leren deze informatie te verwerken, door het beïnvloeden van de rijnsnelheid en door het verkeer qua samenstelling homogener te maken.
2. Door de beschikbare wrijvingskrachten groter te maken dan de door de weggebruiker benodigde. Zoals uit de volgende hoofdstukken zal blijken, zal dit in hoofdzaak het verbeteren van technische (weg- en voertuig-)eigenschappen betekenen.

2 Minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten

Het is zinvol in de bespreking van de factoren die van invloed zijn op de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten een onderverdeling te maken in menselijke factoren, wegfactoren, voertuigfactoren, verkeersfactoren en factoren met betrekking tot de weersomstandigheden.

2.1 Menselijke factoren

Onder normale omstandigheden worden de aandrijfkrachten, de remkrachten en de dwarskrachten als gevolg van het sturen door de bestuurder, door middel van zijn rijgedrag, bepaald.

De mens als verkeersdeelnemer staat centraal in het systeem van factoren dat het verkeersgedrag bepaalt, omdat van hem afhankelijk is of de bewegingscondities juist en bijtijds worden waargenomen en metterdaad worden benut.

Teneinde bewegingsstoornissen te vermijden, moet rekening worden gehouden met de eigenschappen van de verkeersdeelnemers en hun beperkingen, die betrekking hebben op het verwerken van informatie, het nemen van beslissingen en het uitvoeren van de gewenste handelingen.

Storende bewegingen in het verkeer kunnen ontstaan door:

- a) een te grote of een te geringe mate van belasting van de verkeersdeelnemers;
- b) belemmeringen in de bewegingen van verkeerseenheden door te weinig mogelijkheden die de weg biedt;
- c) ten onrechte gekoesterde verwachtingen van de verkeersdeelnemer.

Vooraf het laatste punt kon wel eens de oorzaak zijn van het stijgen van het aantal (slip)ongevallen bij tijdelijk en/of plaatselijk afnemende wrijvingscoëfficiënten.

De verkeersdeelnemer verwacht – zonder zich dit bewust te zijn – een zekere wrijvingscoëfficiënt, waarop hij de grootte van de voor hem noodzakelijke wrijvingskrachten baseert. Indien hieraan niet wordt voldaan, zal de bestuurder grotere wrijvingskrachten dan beschikbaar nodig hebben, waardoor slip zal optreden. De technische factoren die het verkeersgedrag van de weggebruikers – en daar-

mee de verlangde wrijvingskrachten – beïnvloeden, worden in de volgende paragrafen behandeld.

2.2 Wegfactoren

Vooraf de geometrie van de weg zal het verkeersgedrag in hoge mate kunnen bepalen.

Discontinuïteiten in de geometrie – vooral wanneer deze een onverwacht verloop hebben en niet tijdig zijn aangekondigd – zullen het verkeersgedrag zodanig kunnen beïnvloeden, dat de weggebruiker hoge wrijvingskrachten zal verlangen. Dit kan geschieden indien het noodzakelijk is te remmen of plotseling uit te wijken. Zo zullen op kruispunten vertragingen, versnellingen en richtingsveranderingen van voertuigen kunnen optreden.

In bogen zullen, afhankelijk van de boogstraal en de gereden snelheid – mede door het voorafgaande weggedeelte wordt bepaald – centripetaalkrachten optreden, die moeten worden geleverd door wrijvingskrachten tussen band en wegdek. Dwarsverkanting in bogen kan – mits in juiste mate toegepast – de verlangde wrijvingskrachten verminderen, doordat slechts een gedeelte van de component van de centripetaalkracht evenwijdig aan het wegdek hoeft te worden geleverd door wrijvingskrachten tussen band en wegdek. Het andere gedeelte wordt geleverd door een component van de zwaartekracht.

Bebouwing en beplanting langs de weg kunnen de windkrachten op het voertuig beïnvloeden. Vooral onderbrekingen kunnen grote zijwindstoten veroorzaken, die – mede afhankelijk van het voertuigtype – plotselinge en grote koerscorrecties nodig kunnen maken, waardoor de verlangde wrijvingskrachten vergroot worden.

In tegenstelling tot de geometrie van de weg heeft het wegdek weinig of geen invloed op het verkeersgedrag van de weggebruikers, behalve – afhankelijk van de voertuigeigenschappen – als de vlakheid erg te wensen overlaat.

Zo is bijvoorbeeld uit snelheidsmetingen van de SWOV gebleken dat de toestand van het wegdek (nat of droog) op de gereden snelheid vrijwel geen invloed heeft, indien het niet (meer) regent; dus wanneer alle omstandigheden, behalve de toestand van het wegdek, gelijk zijn.

Ook tussen de wegdekken onderling is weinig verschil in gereden snelheid te bemerken, mits ze voldoende vlak zijn.

2.3 Voertuigfactoren

Ook de informatieve eigenschappen van het voertuig zullen het verkeersgedrag van de weggebruiker beïnvloeden.

Zo zal het comfort van het voertuig mede bepalend zijn voor de snelheidskeuze van de bestuurder; immers, de snelheidsimpressie in het voertuig hangt onder andere af van het comfort (waaronder wordt verstaan het al of niet aanwezig zijn van trillingen, geluid – zowel van de wind als van de aandrijforganen –, enz.). De invloed van de rijnsnelheid op de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten zal in de paragraaf 2.4 Verkeersfactoren worden behandeld.

In bogen zal het rollen (rotatie om de langsas) van het voertuig een rol spelen bij de snelheidskeuze van de bestuurder.

Het uitzicht uit het voertuig zal mede bepalend zijn voor het tijdstip waarop de bestuurder alles kan waarnemen wat voor het bepalen van zijn verkeersgedrag belangrijk is. Bij een tijdige waarneming kan de bestuurder geleidelijke richtings- en snelheidsveranderingen uitvoeren waardoor de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten lager kunnen zijn.

De besturingseigenschappen, zoals benodigde stuuruitslagen en stuurkrachten beïnvloeden de wijze waarop de bestuurder van rijrichting zal veranderen. Bij plotselinge stuurverdraaiingen (bijvoorbeeld bij het in- en uitgaan van bogen en bij het uitwijken voor obstakels) kunnen de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten groter zijn dan bij het constant doorlopen van bogen.

In het algemeen kan van de informatieve eigenschappen van het voertuig gezegd worden dat in normale situaties de informatie over het gedrag van het voertuig ook relevant moet zijn voor het voertuiggedrag in kritische situaties. Is dit niet het geval – zoals het bij sommige voertuigen plotselinge overgaan van onderstuur in vrij hevig overstuur, wanneer de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten de beschikbare benaderen of overschrijden – dan zal dit de kans op een slipongeval kunnen vergroten.

Globaal gesteld zijn de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten nodig voor het aandrijven, het remmen en het doorlopen van bogen. Uiteraard zijn combinaties hiervan mogelijk.

2.3.1 Aandrijven

Slippen ten gevolge van aandrijven zal in de regel slechts voorkomen bij zeer gladde en bij natte, oneffen wegdekken. Treedt in het geval van achterwielaandrijving doorslaan op van de aangedreven wielen, dan kunnen deze uitbreken, waarbij het voertuig roteert om de verticale as.

In het geval van voorwielaandrijving zal bij het doorslaan van de aangedreven wielen, het voertuig vrijwel een rechte baan volgen.

2.3.2 Remmen

De voor personenauto's in het Wegenverkeersreglement wettelijk voorgeschreven minimum remvertraging bij controle langs de weg bedraagt $5,2 \text{ m/sec}^2$. Voor autobussen geldt een minimum remvertraging van $4,5 \text{ m/sec}^2$, voor vrachtwagens $4,0 \text{ m/sec}^2$. Voor de typekeuring worden door de Rijksdienst voor het Wegverkeer 10 % hogere waarden aangehouden.

Voor wat betreft de bereikbare remvertraging zijn – zelfs op droog wegdek – voor de meeste personenauto's de remmen zelf niet de beperkende factor, maar

de wrijvingscoëfficiënt tussen band en wegdek en de remkrachtverdeling over voor- en achterwielen.

Een voertuig kan een maximale remvertraging bereiken indien deze remkrachtverdeling zodanig is dat de maximale wrijvingskracht tussen band en wegdek (μ_{lim} in figuur 2, blz. 23), tegelijkertijd aan de voor- en achterwielen bereikt wordt. Voor het geval dat blokkeren optreedt zal dan bij deze remkrachtverdeling dit blokkeren gelijktijdig bij voor- en achterwielen optreden. Deze ideale remkrachtverdeling is echter zelden aanwezig. Vrijwel steeds zullen eerst óf de voorwielen, óf de achterwielen blokkeren. Blokkeren eerst de achterwielen, dan zal – overeenkomstig de situatie bij aandrijven – uitbreken van de achterwielen kunnen optreden; blokkeren eerst de voorwielen, dan zal het voertuig een rechte baan volgen.

Door (lastafhankelijke) remkrachtregelaars kan in principe de ideale remkrachtverdeling vrij goed worden benaderd.

Door het toepassen van een antiblokkeerinrichting kan op natte wegdekken een grotere gemiddelde vertraging worden bereikt indien het verschil tussen de maximale wrijvingskracht en de wrijvingskracht bij blokkeren voldoende groot is, terwijl bovendien het voertuig tijdens het remmen bestuurbaar blijft.

De remkrachten aan de linker- en rechterzijde van het voertuig mogen geen grote verschillen vertonen, omdat anders het voertuig zal afwijken van een rechte baan en om de verticale as kan gaan draaien. Verschillen in remkracht aan de linker- en de rechterzijde van het voertuig kunnen bijvoorbeeld optreden bij sterk zelfbekerachtigende remmen, door veranderende wrijvingscoëfficiënten tussen trommel of schijf en frictiemateriaal als gevolg van de temperatuur van de rem, door water of remvloeistof in de trommel of op de schijf of door verbranding van het frictiemateriaal.

2.3.3 Doorlopen van bogen

Theoretisch zou uit de beschikbare wrijvingskrachten de maximaal haalbare zijwaartse (centripaal-)versnelling te berekenen zijn, indien alle van belang zijnde voertuigeigenschappen (zoals bandkarakteristieken en gewichtsoverzetting) bekend zijn. Deze theoretisch haalbare zijwaartse versnelling kan in de praktijk echter niet altijd worden bereikt. Dit komt door de volgende oorzaken:

1. Doordat de maximaal beschikbare wrijvingskracht tussen band en wegdek in alle richtingen vrijwel dezelfde grootte heeft, zullen de aanwezige aandrijfkrachten de waarde van de beschikbare wrijvingskrachten in dwarsrichting verlagen.
2. De aandrijfkrachten op het binnen- en het buitenwiel zijn als gevolg van de differentieelwerking gelijk. Doordat de wielen aan de binnenzijde van de boog door de centrifugaalkrachten worden ontlast, kan het aangedreven binnenwiel eerder doorslaan waardoor de dwarskracht op dit wiel zeer klein wordt.
3. Als gevolg van de stuurhoek en de drifthoeken voor en achter worden de centripetaalkrachten slechts door componenten van de spoorkrachten geleverd.
4. Een eventuele (verkeerde) dwarshelling of zijwind oefenen extra dwarskrachten op het voertuig uit.
5. De bandkarakteristieken (figuur 3, blz. 24) worden door wegdekoneffenheden nadelig beïnvloed.

6. Door wielstand- en wielbelastingsveranderingen bij het doorlopen van bogen kunnen extra complicaties optreden, die het uitbuiten van de beschikbare wrijvingskrachten beïnvloeden.

7. De beweging kan vóór het bereiken van het theoretisch maximum instabiel worden.

Hiertegenover staat echter dat een component van de aandrijfkracht een (klein) gedeelte van de centripetaalkracht levert.

2.3.4 Conclusie

Concluderend kan worden gezegd dat een voertuig de grootte van de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten gunstig zal kunnen beïnvloeden indien:

a) het voertuig door zijn informatieve eigenschappen de bestuurder tijdig zal informeren wanneer de grens van de beschikbare wrijvingskrachten wordt benaderd, en in dat geval ook de juiste informatie over het gedrag van het voertuig zal geven;

b) het voertuig door zijn constructieve eigenschappen een zo effectief mogelijk gebruik zal maken van de beschikbare wrijvingskrachten.

2.4 Verkeersfactoren

Uiteraard speelt de verkeerssituatie een grote rol bij het bepalen van het verkeersgedrag door de weggebruiker. Immers de weggebruiker zal het voor een groot deel van het overige verkeer laten afhangen of hij zal accelereren, remmen of van richting veranderen voor welke manoeuvres hij extra wrijvingskrachten tussen band en wegdek nodig zal hebben.

De eigen rijsnelheid heeft een aanzienlijke invloed op de grootte van de verlangde wrijvingskrachten. Zo zullen de remkrachten kwadratisch moeten toenemen bij toenemende rijsnelheid om binnen een bepaalde afstand tot stilstand te komen. Ook de centrifugaalkracht in bogen neemt bij constante boogstraal toe met het kwadraat van de snelheid. Bij toenemende rijsnelheid wordt de zijwaartse uitwijking bij een zijwindstoot groter en daardoor zullen ook grotere en snellere stuurcorrecties nodig zijn om het voertuig de gewenste baan te doen volgen.

2.5 Weersfactoren

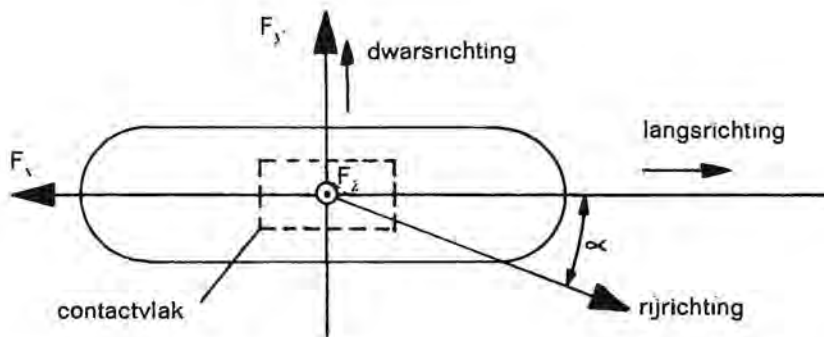
De weersomstandigheden hebben invloed op het verkeersgedrag van de weggebruiker. Zo zal er bijvoorbeeld in omstandigheden van slecht zicht in het alg-

meen langzamer worden gereden, maar in die omstandigheden is ook de maximale beschikbare remweg veel geringer doordat een eventueel obstakel later wordt opgemerkt, zodat ondanks de lagere snelheid de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten in noodsituaties wel eens groter kunnen zijn dan in normale omstandigheden. Een aanwijzing hiervoor kan zijn, dat kettingbotsingen vooral optreden wanneer het zicht slecht is, of wanneer de beschikbare wrijvingskrachten (zeer) gering zijn.

De windkrachten hebben een directe invloed op de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten. Vooral zijwind zal immers het voertuig uit de gewenste baan kunnen drukken, waardoor de banden een dwarskracht dienen te leveren om de windkracht tegen te werken.

3 Beschikbare wrijvingskrachten

3.1 Gebruikte symbolen en definities



Figuur 1. Een band in bovenaanzicht

Verklaring van de symbolen

F_x	horizontale kracht in wielvlak (rem- of aandrijfkracht)	(kgf)
F_y	kracht loodrecht op wielvlak (dwarskracht of spoorkracht)	(kgf)
F_z	verticale bandbelasting	(kgf)
V	rijnsnelheid	(km/h)
α	drifthoek	(graden)
μ_{lm}	maximum wrijvingscoëfficiënt in langsricting	(F_x/F_z)
μ_{lb}	wrijvingscoëfficiënt in langsricting bij geblokkeerd wiel	(F_x/F_z)
μ_{lv}	wrijvingscoëfficiënt in langsricting bij een vast percentage langsslip	(F_x/F_z)
μ_d	wrijvingscoëfficiënt in dwarsricting bij $\alpha = 15^\circ$ (of 20°)	(F_y/F_z)
ω_r	hoeksnelheid wiel tijdens remmen	(rad/sec)
ω_0	hoeksnelheid vrij rollend wiel	(rad/sec)

3.2 De wrijvingskrachten op een droog wegdek

Hoewel op een droog wegdek de situatie ten aanzien van het slippen door de hogere beschikbare wrijvingskrachten minder kritisch is dan op een nat wegdek, is het voor een goed begrip beter te beginnen met een bespreking van de factoren die de wrijvingskrachten op droog wegdek beïnvloeden.

De wrijvingscoëfficiënt tussen de band en het wegdek is opgebouwd uit drie componenten, een adhesie- of kleefcomponent, een hysteresis- of vervormingscomponent en een cohesie- of slijtagecomponent.

Adhesie is een moleculaire aantrekking tussen het wegdek en rubberdeeltjes van de band. De adhesiecomponent is op een droog wegdek de voornaamste component van de wrijvingscoëfficiënt.

De **hysteresis**component ontstaat bij vervormingen van de bandrubber door wegdekoneffenheden, waarbij de krachten bij terugveren kleiner zijn dan de krachten nodig voor het vervormen van de rubber. De hysteresis is afhankelijk van de temperatuur van de rubber en neemt af bij stijgende rubbertemperatuur. Ook de rubbersoort speelt bij dit proces een grote rol.

Naarmate het wegdek ruwer is, zal de adhesiecomponent afnemen en de hysteresiscomponent toenemen met, in het algemeen, als resultaat dat de totale wrijvingscoëfficiënt op een droog wegdek iets zal afnemen.

Wordt een wiel, voorzien van een luchtband, geblokkeerd, dan bepaalt vooral bij een hoge rijnsnelheid en droog wegdek, de **cohesie**component voor een belangrijk deel de wrijvingscoëfficiënt. (Bijvoorbeeld te zien door het uitsmeren van de rubber over het wegdek).

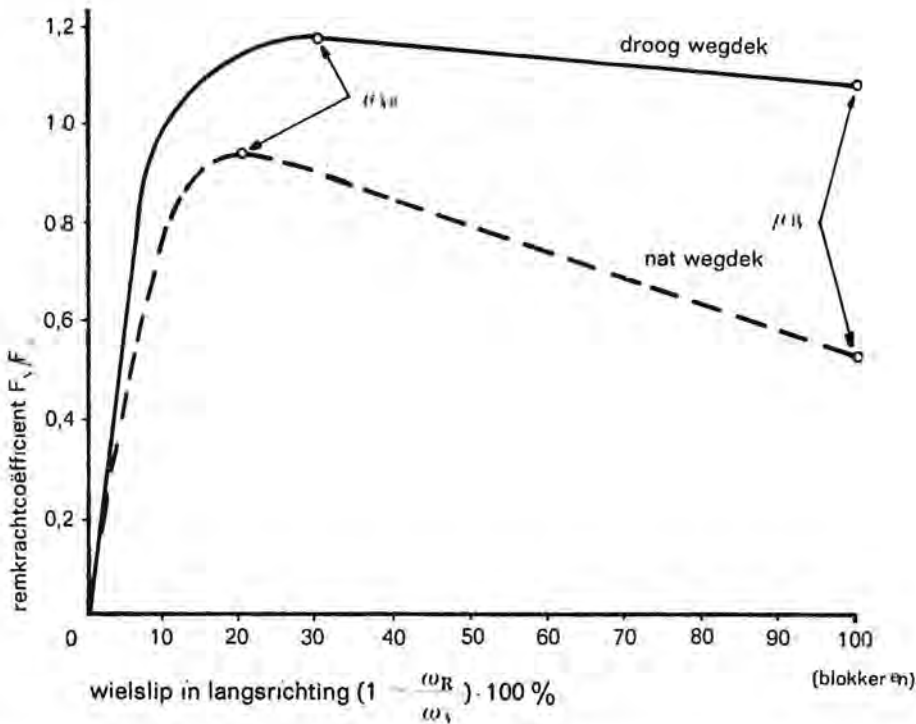
De verticale bandbelasting, de bandspanning en het bandtype bepalen de gemiddelde vlaktedruk in het contactvlak tussen band en wegdek. Deze gemiddelde vlaktedruk, die ongeveer evenredig is met de bandspanning, heeft invloed op de wrijvingscoëfficiënt. Op een droog wegdek is de wrijvingscoëfficiënt bij een hogere gemiddelde vlaktedruk enigszins lager.

De plaatselijke vlaktedruk tussen de bandrubber en kleine wegdekoneffenheden en de mate waarin de rubber zich over de oneffenheden heen drapeert worden voor een groot deel bepaald door de hardheid van de rubber.

De bandbelasting en de constructieve eigenschappen van de band en de wielophanging bepalen ook de vervormingen en de slipsnelheden in het contactvlak. Zo zal een grotere verticale bandbelasting grotere schuifspanningen in de contactzone veroorzaken, als gevolg van een grotere bandafplating. Een resulterende horizontale kracht zal om deze reden niet lineair toenemen en, indien de band is overbelast, zelfs iets kunnen afnemen bij een toenemende verticale belasting.

De totale horizontale krachten in het contactvlak tussen de band en het wegdek kunnen ontbonden worden in krachten evenwijdig aan het wielvlak (langskrachten) en krachten loodrecht op het wielvlak (dwarskrachten), zie figuur 1, blz. 21. De resulterende langskracht ontstaat door rolweerstand, remmen of aandrijven. De resulterende dwarskracht ontstaat als gevolg van het rollen onder een drifthoek – hoek α in figuur 1 – of een vluchthoek – de hoek tussen de normaal op het wegdek en het wielvlak – en is noodzakelijk voor het doorlopen van bogen, in geval van zijwind en bij een dwarshelling van het wegdek.

Figuur 2. Voorbeeld van het verband tussen remkracht en wielslip in langsricting



Uiteraard kunnen ook combinaties van langs- en dwarskrachten optreden, bijvoorbeeld bij het remmen of gasgeven in bogen.

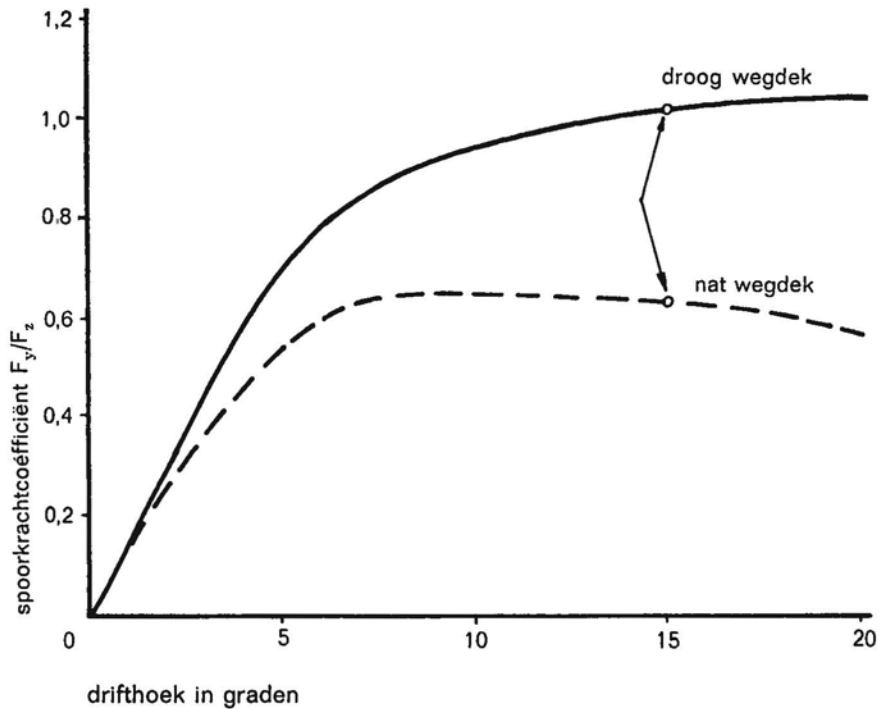
In figuur 2, blz. 23, wordt een voorbeeld gegeven van het verband tussen wielslip in langsricting en de remkrachtcoëfficiënt F_x/F_z . Bij kleine remkrachten slippen in het contactvlak voornamelijk de rubberdeeltjes aan het einde van het contactvlak; in het voorste deel treedt weinig of geen slip op.

De slijpzone en de slijpsnelheden nemen toe bij grotere remkrachten, terwijl het wiel steeds langzamer gaat draaien bij vrijwel constante rijnsnelheid. De remkrachtcoëfficiënt bereikt - afhankelijk van de rijnsnelheid en de toestand van de band en het wegdek - meestal een maximum waarde bij een wielslip tussen 15 en 25 %, waarna het wiel snel blokkeert en de slijpsnelheid in het gehele contactvlak gelijk wordt aan de rijnsnelheid van het voertuig.

De remkrachtcoëfficiënt is voor een geblokkeerd wiel meestal lager dan voor een rollend wiel, vooral bij hoge rijnsnelheden en een nat wegdek.

In figuur 3, blz. 24, wordt het overeenkomstige beeld voor de dwarskrachtcoëfficiënt als functie van de drifthoek gegeven. Ook hier begint het slippen aan het

Figuur 3. Voorbeeld van het verband tussen spoorkracht en drifthoek



einde van het contactvlak, totdat bij grotere drifthoeken in het gehele contactvlak slijp in dwarsrichting optreedt.

Op een droog wegdek wordt de maximale wrijvingskracht meestal bereikt bij een drifthoek van 15 à 20 graden.

De dwarskracht als gevolg van de hoek die de wielas maakt met het wegdek (vluchthoek) is geringer, namelijk 1/6 à 1/10 van de dwarskracht als gevolg van een even grote drifthoek.

3.3 De wrijvingskrachten op een nat wegdek

Hoewel de in paragraaf 3.2 genoemde verschijnselen ook bij een nat wegdek van invloed kunnen zijn, is de versturende factor in dit geval het water op het wegdek. In deze omstandigheid kan bij een rollende of glijdende band het con-

tact tussen de band en het wegdek gedeeltelijk of geheel verbroken worden door een waterfilm. Deze waterfilm tussen de rubber en het wegdek kan ontstaan, indien de hydrodynamische druk in het water plaatselijk gelijk wordt aan de verticale vlaktedruk.

De hydrodynamische druk in de waterfilm ontstaat als gevolg van traagheidskrachten en visceuze krachten. De grootte van de hydrodynamische kracht F_v in figuur 4, blz. 25, als gevolg van de traagheidskrachten in het water, neemt toe bij een stijgende rijsnelheid.

De horizontale kracht F_h is een extra weerstandskracht die van de gemeten horizontale kracht afgetrokken moeten worden om de werkelijke wrijvingskracht in het contactvlak te verkrijgen.

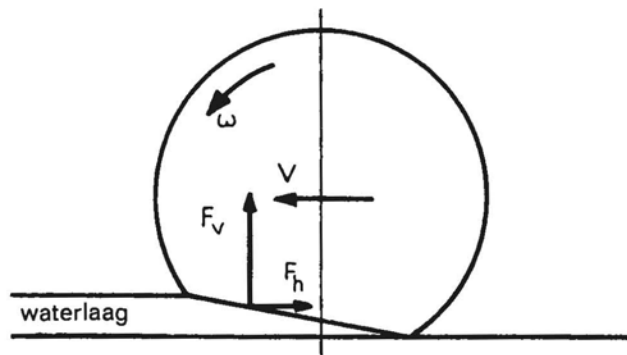
Op plaatsen waar de rubber door een waterfilm gescheiden is van het wegdek, is geen adhesie mogelijk.

Het gevolg van het verminderen van het oppervlak waar adhesie tussen rubber en het wegdek mogelijk wordt, is een lagere totale wrijvingskracht in het contactvlak dan op een droog wegdek. Zie de figuren 2 en 3.

Door de lagere adhesiecomponent wordt de hysteresiscomponent voor de totale wrijvingskrachten van veel meer belang. De hysteresiscomponent wordt waarschijnlijk niet sterk beïnvloed door een dunne waterfilm, de hysteresis kan zelfs groter zijn dan op een droog wegdek als gevolg van de koelende werking van het water. Het wegdek dient echter een bepaalde geometrische gearardheid te bezitten om de hysteresiscomponent mogelijk te maken.

Op hoofdwegen – waar overwegend bitumineuze en cementbeton verhardingen worden toegepast – bestaat de verhardingssoort van de deklaag in principe uit een homogeen mengsel van een bindmiddel en een mineraal aggregaat.

De gearardheid van het oppervlak in verband met de beschikbare wrijvingscoëfficiënt is afhankelijk van de grootte en de vorm van het aggregaat en van de ruimte tussen de korrels. Men kan spreken van macro- en micro-ruwheid van het wegdek.



De macroruwheid is nodig om op natte wegdekken, vooral bij hogere snelheden, het water uit de contactzone snel af te voeren (primaire dynamische drainage). Indien het grootste deel van het water is afgevoerd, dient de resterende film op een voldoende aantal plaatsen doorbroken te worden of adhesie tussen bandrubber en wegdek mogelijk te maken (secundaire dynamische drainage). Hiervoor is het noodzakelijk dat het wegooppervlak op vele plaatsen scherpe oneffenheden vertoont. Dit aspect van de geaardheid wordt microruwheid genoemd. De geaardheid van het oppervlak blijft gedurende de levensduur van het wegdek niet gelijk. Door de polijstende werking van het verkeer zal vooral de microruwheid veranderen, waardoor de wrijvingscoëfficiënt in het algemeen zal dalen. De verkeersintensiteit en het materiaal van het wegdek, vooral het gebruikte aggregaat, zijn hierop van invloed.

Het blijkt dat de wrijvingscoëfficiënt tussen een band en een wegdek regelmatige schommelingen vertoont, die samenhangen met de seizoenen.

In het zomerseizoen is de wrijvingscoëfficiënt op **natte** wegdekken in het algemeen wat lager dan in de winter. Deze variaties kunnen maar gedeeltelijk worden verklaard uit het verloop van de temperatuur. Het overblijvende verschil hangt waarschijnlijk samen met het feit dat 's winters door fysische inwerking van vorst of door de chemische middelen voor de gladheidsbestrijding de oppervlakte-eigenschappen van het wegdek kunnen veranderen. Het kan ook samenhangen met het feit dat 's zomers de wegdekken meer verontreinigd zullen zijn dan in de winter. In een periode van droog weer zullen vooral de hoeveelheden stof en slijtagedeeltjes toenemen. Regen na zo'n periode kan dan ook tijdelijk een lagere stroefheid veroorzaken, hetgeen vermoedelijk een gevolg is van een hogere viscositeit van het water/stof mengsel, waardoor het minder snel wordt verdrongen.

Evenals de geaardheid van het wegdekooppervlak heeft ook de profilering van de band een grote invloed op de dynamische drainage in de contactzone tussen band en wegdek. Tevens dient de profilering voor een betere koeling van de loopvlakrubber.

Op een nat wegdek kan het water dat zich onder de loopvlakribben bevindt in de breedterichting van het contactvlak naar de langsgroeven stromen.

Om de opbouw van grote hydrodynamische drukken onder de loopvlakribben te voorkomen, wordt een dwarsprofilering en een zig-zag profiel aangebracht. Door kleine insnijdingen in de loopvlakribben ontstaan plaatsen waar bij een rollende band geen grote hydrodynamische drukken mogelijk zijn. De holten kunnen een bepaalde hoeveelheid water opnemen, die er na het verlaten van het contactvlak uitgeslingerd wordt. Deze insnijdingen worden ineffectief bij een geblokkeerd wiel. De dynamische drainage en de vorming van de hydrodynamische druk worden uiteraard tevens beïnvloed door de slijtage van profieldeeltjes. De afrondingen vormen kleinere wiggen, waardoor een hydrodynamische druk kan worden opgebouwd.

Een band zonder profilering heeft een groter werkelijk contactoppervlak dan een band met profilering. Als gevolg hiervan kan – vooral bij lagere rijsnelheden – een band zonder profilering op droge en op weinig natte, goed drainerende wegdekken ongeveer dezelfde wrijvingscoëfficiënt geven als een band met een profilering. Van veel praktische waarde is dit gegeven echter niet. De invloed van de bandprofilering op de wrijvingscoëfficiënt is het grootste op gesloten wegoppervlakken.

Meetresultaten geven voorlopig de indruk dat – hoewel de vereiste profieldiepte dus afhankelijk is van de rijsnelheid, de dikte van de waterlaag, de geartheid van het wegdek en de constructie en profilering van de band – de profieldiepte minimaal 1 à 2 mm zal moeten meedragen [8.7].

Voor het doen van definitieve aanbevelingen betreffende de profieldiepte is echter nog uitgebreid en diepgaand onderzoek noodzakelijk.

Indien de dynamische drainage in het contactvlak niet voldoende is om het water af te voeren, zal er een waterlaag tussen de band en het wegdek overblijven. De beschikbare wrijvingskrachten zijn dan zeer laag en het voertuig is onbestuurbaar. Deze onvoldoende drainage kan een gevolg zijn van ongunstige band- en wegdekeigenschappen. Bij een gladde band op een wegdek zonder voldoende ruwheid kan reeds bij relatief lage snelheden een ononderbroken waterfilm tussen de band en het wegdek ontstaan, als gevolg van visceuze krachten in het water. Bij een grote dikte van de waterlaag door een onvoldoende statische drainage (onvoldoende afvoer van water naar de zijkanten van de weg) en hoge rijsnelheden kan de dynamische drainage, ook van goede banden op goede wegdekken, toch ontoereikend zijn. Als gevolg van de massakrachten in de waterfilm zal ook dan een volledige scheiding tussen de band en het wegdek optreden. Dit verschijnsel noemt men planeren of waterskiën (hydroplaning).

In dat geval speelt van de bandeigenschappen alleen de bandspanning (p) een rol. De snelheid waarbij het planeren zal optreden blijkt uit experimenteel onderzoek ongeveer evenredig met de $1/p$.

In tegenstelling met de normale situatie kan hier dus een hogere bandspanning een hogere wrijvingscoëfficiënt betekenen, namelijk wanneer men zich in het kritische snelheidsgebied bevindt.

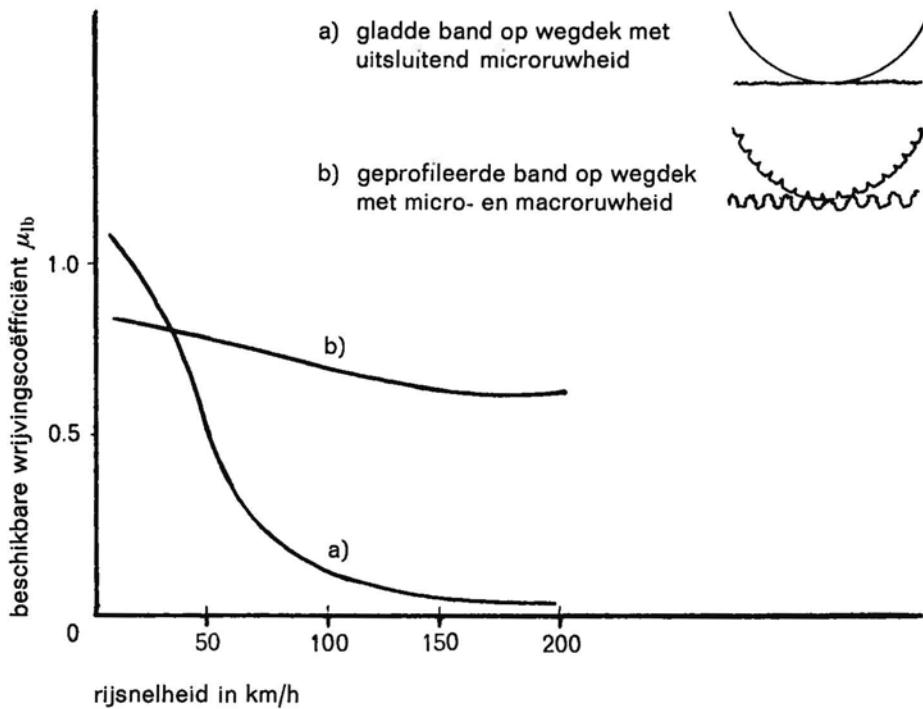
Zowel de traagheidskrachten als de visceuze krachten zijn sterk afhankelijk van de snelheid. Bij een toenemende rijsnelheid zal het oppervlak waar adhesie mogelijk is steeds kleiner worden, waardoor de wrijvingscoëfficiënt sterk kan dalen bij een toenemende rijsnelheid. Op ruwe wegdekken kan de hysteresiscomponent toenemen bij een toenemende rijsnelheid, waardoor het verlies van adhesie soms gecompenseerd kan worden.

De invloed van de snelheid op de wrijvingscoëfficiënt is dus sterk afhankelijk van de eigenschappen van de band en het wegdek. Het verband tussen de wrijvingscoëfficiënt en de rijsnelheid heeft dan ook vaak een niet-lineair karakter. In figuur 5, blz. 28, zijn twee extreme mogelijkheden geschetst.

3.4 Bijzondere omstandigheden

Tot dusver is slechts gesproken over droge en natte wegdekken. Er komen echter omstandigheden voor, waaronder de beschikbare wrijvingskrachten veel geringere waarden aannemen, zoals bij een besneeuwd of beïzeld wegdek, of bij een verontreiniging door olie, klei of dergelijke. Hoewel het aantal gevallen, waarbij deze omstandigheden een belangrijke bijdragende factor vormen,

Figuur 5. Voorbeeld van het verband tussen de beschikbare wrijvingscoëfficiënt bij een geblokkeerd wiel en de rijsnelheid, met verschillende wegdekken en banden



zeker niet gering is, valt een beschouwing daarvan buiten de opzet van het onderzoek.

Normaliter zal een zorgvuldige wegbeheerder door een slagvaardige gladheidsbestrijding de bedoelde bijzondere omstandigheden zoveel mogelijk kunnen vermijden en herleiden tot normale condities.

4 Methoden voor het meten van de beschikbare wrijvingscoëfficiënten

4.1 Meetcondities

Voor het meten van de wrijvingskrachten tussen een band en een wegdek heeft men in de meeste Europese landen en in vele staten van de V.S. meetmethoden ontwikkeld, waarbij de invloed van verschillende factoren zo veel mogelijk onder controle is gebracht. Hierbij is het nuttig onderscheid te maken tussen twee begrippen: de wrijvingscoëfficiënt (In een incidenteel geval) en de stroefheid (als parameter van het wegdek).

De wrijvingscoëfficiënt is een variabele die afhankelijk is van de eigenschappen van het voertuig, de weg, de conditie hiervan en de rijnsnelheid (zie hoofdstuk 3). De wrijvingscoëfficiënt is te definiëren als het quotiënt van de maximaal beschikbare wrijvingskracht tussen een band en een wegdek en de verticale bandbelasting.

De stroefheid is een kwaliteitscriterium voor de weg. Als maat voor de stroefheid wordt de wrijvingscoëfficiënt genomen, zoals die gemeten is met één of andere meetmethode, onder bepaalde vastgelegde condities (zie ook paragraaf 4.2 en 4.3). Uit stroefheidsmetingen volgens een standaardmeetmethode is het dan ook niet zonder meer mogelijk de wrijvingscoëfficiënten tussen band en wegdek in een incidenteel geval af te leiden.

De gemeten waarde van de stroefheid geldt slechts voor de condities waaronder de meting is verricht.

Het is dan ook gewenst, de meetcondities zoveel mogelijk te laten overeenkomen met de praktijkcondities. Zo zal het wegdek met behulp van een sproeiinrichting altijd nat gemaakt moeten worden, omdat de natte toestand van de weg de meest kritieke is.

De gemeten stroefheid is binnen bepaalde grenzen onafhankelijk van de dikte van opgesproeiende waterlaag [8.8]. Het verband tussen de stroefheid en de dikte van de waterlaag is onder meer afhankelijk van de aard van het wegdek, de bandeigenschappen (waaronder de profilering) en de meetsnelheid.

Worden vergelijkende metingen van de stroefheid van een groot aantal wegdekken verricht, dan is uit praktische overwegingen een keuze uit de vele mogelijkheden noodzakelijk, doch de meetcondities dienen dan zorgvuldig te worden vastgesteld. Hierbij zal rekening moeten worden gehouden met de invloed van deze condities op de kans dat slippen optreedt en met de frequentie van het voorkomen van deze condities in het verkeer op een bepaald wegtype.

Betreft het een éénmalige meting van de wrijvingscoëfficiënt die voor een bepaald voertuig onder bepaalde condities beschikbaar is, dan dienen in beginsel de

meetcondities zoals de rijsnelheid, het bandtype en de waterhoogte aan de werkelijke omstandigheden te worden aangepast.

Bij het beoordelen van de meetresultaten zou nog rekening dienen te worden gehouden met factoren als de seizoeninvloed, de temperaturen van de band, van het water en van het wegdek, doch de (kleine) invloeden hiervan kunnen nog niet in rekening worden gebracht.

4.2 Meetmethoden

Om de stroefheid van de weg te bepalen wordt de meting praktisch alleen in de langsrichting van de weg uitgevoerd. Daarbij kunnen zes methoden worden toegepast. Er zijn aanwijzingen dat voor het vaststellen van de rangorde van verschillende wegdekken voor wat betreft stroefheid het veelal niet belangrijk is welke methode wordt gebruikt. Wel moet men echter meestal aan de absolute waarde van de ene meetmethode een andere betekenis toekennen dan die van een andere. In de navolgende paragrafen worden van elke meetmethode enkele bijzonderheden vermeld, waarna de voornaamste karakteristieken van de verschillende methoden zijn samengevat in tabel 1 blz. 32.

4.2.1 Het meten met een geblokkeerd wiel

De verkregen wrijvingscoëfficiënt – dus geldend voor een geblokkeerd wiel – wordt μ_{lb} genoemd (zie ook figuur 2). Deze coëfficiënt is op een nat wegdek meestal belangrijk lager dan de coëfficiënt μ_{lh} (de maximale wrijvingscoëfficiënt in langsrichting, zie figuur 2) en μ_d (de wrijvingscoëfficiënt in dwarsrichting bij bijvoorbeeld 15 graden drifthoek, zie figuur 3).

4.2.2 Het meten van de maximale remkrachtcoëfficiënt, door middel van een blokkeerprocedure

Deze wrijvingscoëfficiënt wordt μ_{lm} genoemd. De maximale remkracht kan, afhankelijk van de rijsnelheid, de waterhoogte, de aard van het wegoppervlak en de bandprofilering optreden bij een langsslip tussen 10 en 40 %, in het algemeen tussen 15 en 25 %. Wordt μ_{lm} bepaald door de remkracht langzaam te verhogen, dan is de waarde van μ_{lm} moeilijk te meten, vooral door het voortijdig blokkeren bij wisselingen in de verticale belasting. De reproduceerbaarheid van de metingen is slecht. De rem bereikt snel hoge temperaturen, omdat het opvoeren van de remkracht geleidelijk moet plaatsvinden.

4.2.3 Het meten met een vast percentage langsslip

De hiermee verkregen wrijvingscoëfficiënt wordt μ_{lv} genoemd. Door het instellen

van een laag percentage langsslip wordt getracht de waarde μ_{lm} te vinden; door het instellen van een hoog percentage langsslip wordt de blokkeringswaarde μ_{lb} benaderd (zie figuur 2). Voordelen van deze meetmethode in vergelijking met de beide vorige zijn de gelijkmatige slijtage over de bandomtrek en de mogelijkheid van een continue registratie. Wordt de geforceerde langsslip bereikt door het meetwiel met behulp van een transmissie te verbinden met andere wielen, dan vindt geen energievernietiging in de rem plaats. Er worden minder hoge eisen aan het motorvermogen van het motorvoertuig gesteld, waardoor dikwijls hogere meetsnelheden mogelijk zijn.

4.2.4 Het meten met een scheef gesteld wiel

De drifthoek bij deze metingen bedraagt meestal 15 of 20 graden, waarbij de dwarskrachtcoëfficiënt μ_d wordt gemeten (zie figuur 3). Een nadeel van deze meetmethode is, dat de gemeten wrijvingscoëfficiënt voor rechte weggedeelten niet reëel is. Ook hier is het motorvermogen van het motorvoertuig, nodig om het scheefgestelde wiel over de weg voort te trekken, geringer dan bij een geblokkeerd wiel. Om een resulterende dwarskracht op het voertuig te vermijden is het echter wenselijk twee meetwielen scheef te stellen. De onder 4.2.1 t/m 4.2.4 opgesomde methoden worden veelal met een constante meetsnelheid uitgevoerd. De meetwielen zijn onder de trekauto of in een meetaanhanger aangebracht.

4.2.5 Het meten van de remweg of de remvertraging

Hiermee kan men de wrijvingscoëfficiënt μ_{lb} en soms μ_{lm} bepalen. Er wordt gebruik gemaakt van een testauto waarvan twee of meer wielen (meestal alleen de voorwielen) geremd worden. Hierbij wordt de remvertraging en/of – indien de wagen tot stilstand komt – de remweg gemeten. Uit deze metingen kan – na vrij ingewikkelde berekeningen in verband met de gewichtsoverzetting – de opgetreden wrijvingscoëfficiënt worden bepaald. Deze meetmethode is slecht reproduceerbaar [8.9], gevoelig voor storingen, en op wegen met een normale verkeersintensiteit nauwelijks uitvoerbaar.

4.2.6 Het meten met een slingerapparaat

Voor deze methode wordt gebruik gemaakt van kleine instrumenten. Aan het uiteinde van de slinger is een stukje rubber bevestigd dat tijdens de slingering over een vast ingestelde lengte (10 à 25 cm) van het te meten oppervlak glijdt. De energie die hierbij verloren gaat is een maat voor de stroefheid van het wegdek. Het voordeel van deze methode is dat de apparaten klein, draagbaar en betrekkelijk goedkoop zijn. Enkele nadelen zijn:

1. Er worden slechts kleine gedeeltes van een wegdek gemeten, waardoor zeer vele metingen noodzakelijk zijn.
2. Op ruwe wegdekken kunnen grote standaardafwijkingen optreden.
3. De glijnsnelheid van het rubber over het wegdek is laag (8 km/h).
4. De meetresultaten worden slechts weinig beïnvloed door primaire dynamische drainage.

Kenmerken \ Meetmethode	geblokkeerd wiel (4.2.1)	maximale remkrachtcoëfficiënt (4.2.2)	vast percentage langsslip (4.2.3)		scheefgespleid wiel (4.2.4)	remweg of remvertraging (4.2.5)
			laag	hoog		
Gemeten coëfficiënt	μ_{lb}	μ_{lm}	μ_{lv}	μ_{lv}	μ_d	μ_{lv} , en/of μ_{lm}
% langsslip, resp. drijfhoek	100 %	15 - 25 %	ca. 20 %	ca. 80 %	15° - 20°	15 - 100 %
Reproduceerbaarheid	minder goed	slecht	goed	goed	goed	slecht
Registratie	discontinu	discontinu; moeilijk afleesbaar	continu	continu	continu	discontinu
Slijtage meetband en temperatuurverhoging	plaatselijk	plaatselijk	gelijkmatig	gelijkmatig	gelijkmatig	plaatselijk
Benodigd motorvermogen	hoog	zeer hoog	zeer laag	laag	laag	laag
Metten in bochten	mogelijk	mogelijk	goed mogelijk	goed mogelijk	goed mogelijk	onmogelijk
Stroefheidsvariatie afhankelijk van meetsnelheid	groot	klein	klein	groot	zeer klein	groot
Grootte van de wrijvingscoëfficiënt	$\mu_{lv} < \mu_{lm}$ $\mu_{lv} < \mu_d$		$\mu_{lv} \approx \mu_{lm}$	$\mu_{lv} \approx \mu_{lb}$		

Tabel 1. Overzicht stroefheidsmeetmethoden

Deze apparaten kunnen echter worden gebruikt om een indruk van de stroefheid van een wegdek te verkrijgen, of om metingen te verrichten op weggedeelten waar andere meetmethoden niet kunnen worden toegepast.

4.3 De invloed van de testband op de meetresultaten

Een band zonder loopvlakprofilering heeft het voordeel dat de slijtage van de band geen grote invloed heeft op de meetresultaten. Ook wordt met een gladde band een groter onderscheid tussen de verschillende wegdekken verkregen. Een nadeel is dat de waarden veelal niet representatief zijn voor de werkelijkheid. Een testband met uitsluitend langsribben zonder insnijdingen in de ribben, zoals de genormaliseerde Amerikaanse testband, heeft het voordeel een meer reële waarde voor de stroefheid te geven, terwijl de slijtage van de band de resultaten niet sterk zal beïnvloeden.

De resultaten verkregen met een personenwagenband zullen in het algemeen niet gelden voor vrachtwagenbanden, als gevolg van verschillen in vlaktedruk en rubbersoort. De wrijvingscoëfficiënt voor vrachtwagenbanden zal in het algemeen lager zijn.

4.4 Criterium voor de stroefheid van de weg

Zoals reeds herhaalde malen naar voren is gekomen, kan de stroefheid van de weg worden uitgedrukt in de coëfficiënten μ_{lm} , μ_{lv} , μ_{lv} of μ_{lv} .

In het algemeen wordt er bij onderzoeken gezocht naar een statistisch verband tussen de coëfficiënten μ_{lv} of μ_{lv} , en het aantal slipongevallen of ongevallen op natte wegdekken. Zeer vaak wordt dan ook μ_{lv} als criterium genomen voor het wel of niet voldoende stroef zijn van wegen. Er zijn echter wegdekken die in natte toestand een lage waarde voor μ_{lv} , doch een normale waarde voor μ_{lm} hebben. Omdat het aannemelijk is dat de kans op blokkeren van wielen bij remmen op deze wegen geringer is dan op wegdekken met een lager coëfficiënt μ_{lm} en deze μ_{lv} is het de vraag of ook hier een verband bestaat tussen de waarde van μ_{lv} en het aantal ongevallen op nat wegdek.

Doch slechts bij een algemeen gebruik van een antiblokkeerinrichting in de remsystemen van de voertuigen zal het zinvol zijn μ_{lv} als criterium te nemen. Hierbij moet worden opgemerkt dat antiblokkeerinrichtingen voor wat betreft de remvertraging alleen een voordeel opleveren indien het verschil tussen μ_{lv} en μ_{lv} voldoende groot is. De met antiblokkeerinrichtingen bereikt effectieve μ_{lv} ligt tussen μ_{lm} en μ_{lv} in.

Aangezien antiblokkeerinrichtingen echter (nog) zeer weinig worden toegepast, is waarschijnlijk toch meestal de coëfficiënt μ_{lv} maatgevend voor de stroefheid

van het wegdek. Dit komt omdat in de praktijk vrijwel altijd verschil zal bestaan tussen de werkelijke en de ideale remkrachtverdeling tussen voor- en achterwielen – waardoor óf voor óf achter de wielen vroegtijdig kunnen blokkeren – en omdat bij (nood)remmingen alle wielen, onder andere door wisselingen in verticale belasting, neiging hebben te blokkeren.

De metingen van de genoemde coëfficiënten dienen te worden uitgevoerd bij rijsnelheden die representatief zijn voor de betreffende weggedeelten. In verband met de wenselijkheid verschillende wegvlakken met elkaar te kunnen vergelijken, verdient het meten bij standaardsnelheden (bijvoorbeeld 30, 50, 70 en eventueel 90 km/h) aanbeveling. Metingen bij hogere snelheden vereisen bijzondere maatregelen zoals afzetting, politiebegeleiding, meten bij nacht, enz., terwijl ook bepaalde technische moeilijkheden moeten worden overwonnen.

5 Interpretatie van de resultaten van stroefheidsmetingen

5.1 Algemeen

In de landen waar stroefheidsmetingen worden verricht volgens een gestandaardiseerde methode, heeft men veelal een kwalificatie voor de numerieke resultaten opgesteld.

Een voor de wegbeheerder belangrijke maatstaf is die, waarbij de stroefheid van het wegdek nog als voldoende kan worden beschouwd; het is nuttig hierbij onderscheid te maken in:

- a) een minimumstroefheid voor een in gebruik zijnde wegdek in natte toestand; dit minimum bepaalt het tijdstip waarop het wegdek, ter handhaving van een voldoende stroefheid, zou moeten worden verbeterd;
- b) een minimumstroefheid waaraan een nieuw aangelegd wegdek in natte toestand moet voldoen; de hier bedoelde waarde zal afhankelijk van het wegdek hoger of gelijk zijn aan de onder a) bedoelde.

Tussen de landen onderling en ook in de landen zelf komen wat betreft de stroefheidsmetingen belangrijke verschillen voor ten aanzien van onder andere de meetinstrumenten, de meetmethode, de gebruikte meetband en de bandbelasting. In verband hiermede zullen bij metingen op eenzelfde wegdek met verschillende apparaten de numerieke uitkomsten in het algemeen niet gelijk zijn. Men zal dan ook voor verschillende methoden verschillende kwalificaties vinden. Dit is echter niet alleen afhankelijk van het verschil in numerieke uitkomsten, maar ook van de gevolgde procedures bij het bepalen van de kwalificaties.

Er zijn vergelijkende metingen verricht, zowel in nationaal als in internationaal verband, waarbij in het algemeen goede correlaties tussen de verschillende meetmethoden gevonden werden. Dit maakt niet alleen een zekere vergelijking mogelijk van de stroefheidswaarden van de in de verschillende landen toegepaste wegdekconstructies, maar tevens van de gehanteerde waardebepaling van de numerieke resultaten.

Rekening houdende met de correlaties en de verschillen betreffende de numerieke resultaten, blijken de in verschillende landen aanvaarde grenzen van de minimum toelaatbare stroefheid in het algemeen bij benadering gelijk te zijn [8.16].

Ook de procedures die in de meeste landen zijn gebruikt om tot een bepaling van de minimaal toelaatbare stroefheid te komen, vertonen enige overeenkomst. Gewoonlijk wordt een statistische analyse verricht van ongevallen, in het bijzon-

der van ongevallen op natte wegen, waarbij slippen als hoofd- of bijoorzaak is vermeld, en die als slipongevallen worden aangeduid.

Er bestaan geen algemeen aanvaarde definities van slipongevallen en het is niet eenvoudig om objectief meetbare grootheden hieromtrent te bepalen. Meestal worden termen als 'relatieve kans op slipongevallen' e.d. gebezigd.

Uit een analyse, waarbij alle eerste orde factoren die een rol kunnen spelen bij een slipongeval in rekening worden gebracht, zal misschien de vorm van de relatie tussen de kans op slipongevallen en de stroefheid worden afgeleid. Zie hoofdstuk 7.

Daar men nooit met 100 % zekerheid slippen kan vermijden - immers ook op droge, stroeve wegdekken komen slipongevallen voor - wordt een bepaalde minimumkans op slipongevallen aanvaardbaar geacht; uit de gevonden vorm van de relatie volgt dan het criterium van de minimaal toelaatbare stroefheid.

De minimumgrens van de relatieve kans op slipongevallen wordt veelal bepaald uit een hoeveelheid ervaring, opgedaan bij vorige onderzoeken. De keuze van de minimumgrens blijft echter arbitrair.

Soms worden gedifferentieerde eisen aan de stroefheid gesteld, zodat verschillende waarden voorkomen voor hoofdwegen, secundaire wegen, stadsstraten, kruispunten en verkeerspleinen, mede in samenhang met de aldaar optredende voertuigsnelheden.

Enkele voorbeelden van onderzoeken naar het verband tussen stroefheid en (slip)ongevallen en de conclusies die hieruit werden getrokken volgen hieronder.

5.2 Duitsland

Door het Institut für Strassen- und Verkehrswesen van de Technische Universität Berlin werd in een periode van drie jaar een onderzoek verricht op 32 wegvakken, hoofdzakelijk gelegen op autosnelwegen en hoofdwegen.

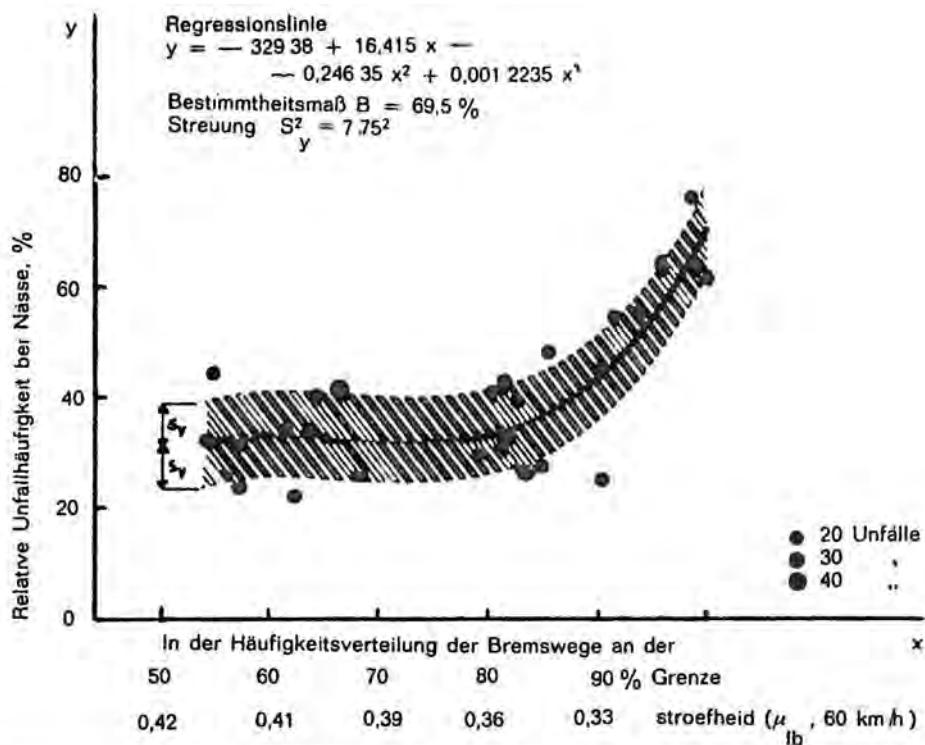
Van elk wegvak werd het aantal ongevallen, waarbij lichamelijk letsel werd veroorzaakt, geteld en hieruit werd een zogenaamde relatieve ongevallenfrequentie voor natte wegdekken vastgesteld. Deze is gedefinieerd als:

$$\frac{\text{het aantal ongevallen op nat wegdek}}{\text{het totaal aantal ongevallen}} \times 100 \%$$

Van elk wegdek werd regelmatig de stroefheid bij verschillende snelheden gemeten met een geblokkeerd wiel en werd de gemiddelde verkeerssnelheid bepaald. Met behulp van deze gegevens werd een bij elk vak behorende remweg berekend. Uit een voorafgaand onderzoek naar remwegen op 640 wegdekken met moderne deklaagverharding was een frequentieverdeling van de gemeten remwegen op deze vakken bepaald.

Als maatstaf voor de stroefheid van elk van de 32 beschouwde wegvakken werd

Figuur 6. Een in Duitsland gevonden verband tussen de relatieve ongevalenkans op een nat wegdek en de plaats in de frequentieverdeling van de remwegen (resp. de stroefheid) op 32 proefvakken



niet direct de bij elk vak behorende remweg genomen, maar de plaats hiervan in de bovengenoemde frequentieverdeling.

Men kreeg toen de grafiek zoals gegeven in bovenstaande figuur 6, waarin het verband wordt gegeven tussen de relatieve ongevalenfrequentie voor een nat wegdek en de frequentieverdeling van de remwegen. Voor de duidelijkheid is bij de frequentieverdeling tevens de bijbehorende stroefheid (gemeten bij 60 km/h met een geblokkeerd wiel) vermeld, zoals uit de grafieken van het artikel te berekenen is [8.10].

Bij een stroefheid lager dan ongeveer 0,36 blijkt de ongevalenkans op een nat wegdek sterk te stijgen.

Op grond van het voornoemd onderzoek zijn voorlopige richtwaarden voor de Duitse wegen opgesteld [8.11]:

- hoger dan 0,42 bij 40 km/h voor wegen met langzaam verkeer
- hoger dan 0,33 bij 60 km/h voor wegen met snel verkeer
- hoger dan 0,26 bij 80 km/h

De waarden worden gemeten met een geblokkeerd wiel, en wel met het zogenaamde Stuttgarter Gerät, Bauart Rieker.

Zoals in figuur 6 is te zien, zou thans 90 % van de Duitse wegen met een modern wegdek, althans bij 60 km/h, aan deze richtwaarden voldoen.

Volgens het Nederlandse Rijkswegenlaboratorium komt de Duitse norm van 0,33 bij 60 km/h, door verschil in meetmethoden, ongeveer overeen met een waarde van 0,45 (bij 50 km/h) van het Rijkswegenbouwlaboratorium (zie ook paragraaf 5.5).

5.3 Engeland

In Engeland verricht het Road Research Laboratory (R.R.L.) veel onderzoek naar de stroefheid van wegen. Dit onderzoek is vooral gericht op wat men noemt 'skidding accident sites', dus weggedeelten waar (relatief) veel slipongevallen gebeuren. De interpretatie of een ongeval een slipongeval is wordt aan de politie overgelaten. Deze 'skidding accident sites' blijken vooral te liggen op kruispunten, steile hellingen, bogen en in het bijzonder op verkeerspleinen.

Men heeft de stroefheid van de betreffende weggedeelten gemeten door middel van een onder 20 graden scheefgesteld wiel bij 48 km/h, en deze vergeleken met de stroefheid van enkele, voor wat betreft geometrie en verkeerssamenstelling vergelijkbare, weggedeelten waar geen slipongevallen plaats vonden. Om de seizoensinvloed (zie blz. 26) uit te schakelen is voor de stroefheid het gemiddelde genomen van metingen die in de zomer en die in de winter zijn uitgevoerd. Zie figuur 7, blz. 39 [8.12]. Het is duidelijk dat de gemiddelde stroefheid van de weggedeelten waar veel slipongevallen gebeuren beduidend lager is dan op de andere weggedeelten.

Bij een onderzoek van het R.R.L. naar de seizoensinvloed op de stroefheid vond men een treffende correlatie tussen de elke maand gevonden gemiddelde waarde van de stroefheid van wegdekken en het relatieve aantal slipongevallen in die maand in heel Engeland.

De stroefheid werd gemeten door middel van de British portable skid resistance tester (een slingerapparaat) op enkele voor het Engelse wegennet representatieve weggedeelten.

Het gevonden verband is gegeven in figuur 8, blz. 39 [8.13]. Het relatieve aantal slipongevallen blijkt hier vrijwel lineair af te nemen bij toenemende stroefheid.

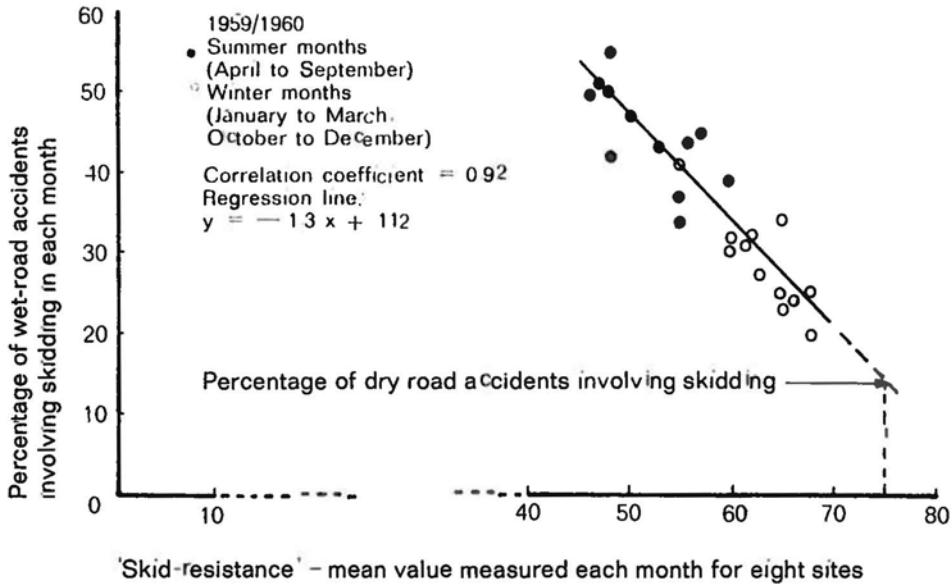
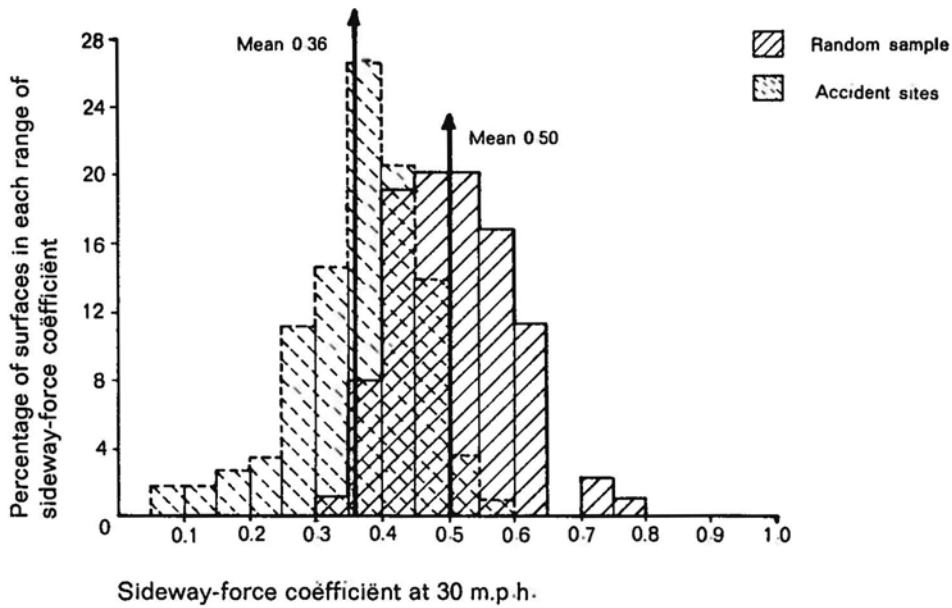
In Engeland zijn door het R.R.L. aanbevelingen voor de stroefheid van wegen aan wegbeheerders verstrekt. Voorheen waren deze aanbevelingen gebaseerd op metingen met een gladde band onder 20 graden drifthoek bij een snelheid van 30 m.p.h. (48 km/h). Deze waren:

0,4 voor rechte wegen;

0,5 voor bogen, kruisingen, hellingen en verkeerspleinen.

Thans zijn er aanbevelingen verstrekt gebaseerd op metingen met de portable skid resistance tester; deze zijn respectievelijk 55 en 65, met voor wegen waar hoge snelheden worden gereden nog als extra-eis een minimale textuurdiepte van 0,025 inch (0,635 mm).

Figuur 7. Een vergelijking tussen de stroefheid van weggedeelten in Engeland waar veel slipegevallen voorkomen en die van vergelijkbare weggedeelten zonder slipegevallen



Figuur 8. Een in Engeland gevonden verband tussen de maandelijkse frequentie van slipegevallen op nat wegdek en de gemiddelde stroefheid in die maand

5.4 Verenigde Staten (Texas)

Door het Texas Highway Department is in samenwerking met het (federale) Bureau of Public Roads een onderzoek ingesteld naar het verschijnsel slippen op de wegen in Texas.

Hiertoe werden 517 wegvakken gekozen waarop door middel van de meetmethode met een geblokkeerd wiel de stroefheid op natte wegdekken bij 20 en 50 m.p.h. (respectievelijk 32 en 80 km/h) werd bepaald.

Gebruikmakend van de beschikbare ongevalgegevens is gezocht naar een verband tussen stroefheid en ongevallen. Welke typen ongevallen (alle ongevallen, ongevallen op nat wegdek, of alleen slipongevallen) als criterium bij het onderzoek gebruikt zouden worden, is bepaald bij een vooronderzoek dat in twee steden is verricht.

Op grond hiervan zijn als criteria gekozen het totaal aantal ongevallen en het aantal ongevallen waarbij persoonlijk letsel (gewonden en doden) optrad. Deze keuze was gebaseerd op de volgende overwegingen:

1. Uit het vooronderzoek was vrijwel geen verschil geconstateerd tussen de verschillende criteria (alle ongevallen, ongevallen op nat wegdek, slipongevallen),
2. Het uitsplitsen van de ongevalgegevens in andere criteria was tijdrovend werk, het criterium van het aantal slipongevallen is nog onbetrouwbaar bovendien omdat een definitie van een slipongeval moeilijk te geven is; met deze procedure zou ook met kleinere aantallen gewerkt moeten worden.
3. Om de eventuele invloed van een onvoldoende registratie uit te sluiten, werd als extra criterium het aantal ongevallen met persoonlijk letsel gekozen; deze worden vrijwel altijd geregistreerd.

De resultaten van dit onderzoek zijn gedeeltelijk gegeven in de figuren 9a en 9b, blz. 41 [8-14]. Hierin is de kans op het aantal ongevallen (respectievelijk het aantal ongevallen met persoonlijk letsel) per 10^8 voertuigmijlen uitgezet tegenover de stroefheid.

Hoewel er een grote spreiding is in de punten, zou volgens de onderzoekers toch blijken dat, in het algemeen gesproken, het aantal ongevallen ongeveer omgekeerd evenredig is met de stroefheid. Dit is vooral te zien aan de getrokken lijn van het maximale aantal ongevallen. Voor ongevallen met persoonlijk letsel is een overeenkomstig verband te signaleren.

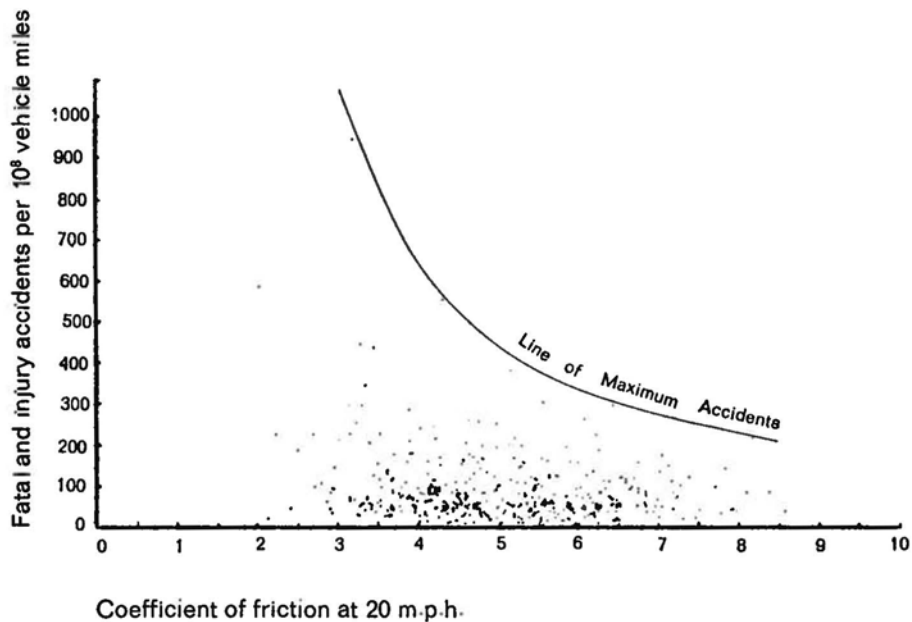
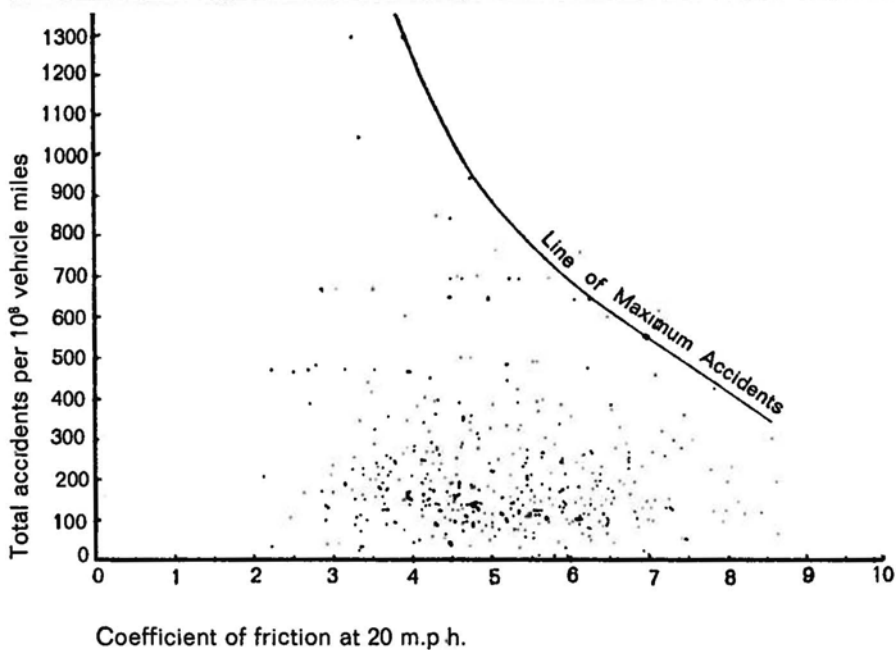
Ook het verband tussen de ongevallen per 10^8 voertuigmijlen en de stroefheid bij 50 m.p.h. heeft een identiek verloop. Bij deze snelheid ligt echter de stroefheid waarbij de lijn van het maximale aantal ongevallen een grotere helling gaat vertonen (in de figuren 9a en 9b tussen 0,4 en 0,5) ongeveer 0,1 lager, dus tussen 0,3 en 0,4.

Op grond van de resultaten van het voornoemde onderzoek is door de onderzoekers een voorstel gedaan voor een algemene aanbeveling voor een minimale stroefheid voor alle wegen in Texas. Dit voorstel houdt in:

- 0,4 bij 20 m.p.h.
 - 0,3 bij 50 m.p.h.
- gemeten met een geblokkeerd wiel

Dit zou inhouden dat ongeveer 30 % van alle wegen in Texas als onvoldoende stroef moet worden gekwalificeerd.

Figuur 9a. Een in de Verenigde Staten (Texas) gevonden verband tussen het aantal ongevallen per 10^8 voertuigmijlen en de stroefheid



Figuur 9b. Een in de Verenigde Staten (Texas) gevonden verband tussen het aantal ongevallen met letsel per 10^8 voertuigmijlen en de stroefheid

5.5 Nederland

In Nederland worden in hoofdzaak op rijkswegen sinds 1933 stroefheidsmetingen verricht door het Rijkswegenbouwlaboratorium.

Tot 1959 geschiedde dat met een aanhanger die kon meten met geblokkeerde wielen bij een snelheid van 20 km/h.

Sinds 1958 meet het Rijkswegenbouwlaboratorium met een nieuwe aanhanger, waarbij zowel de methode met een geblokkeerd wiel als met 86 % langsslip kan worden toegepast. Voor routinemetingen is de meetsnelheid 50 km/h, voor andere metingen – om een inzicht te krijgen in het verloop van de stroefheid bij toenemende snelheid – ook wel 70 en 90 km/h.

Om de wegbeheerders een inzicht te geven in een al of niet voldoende stroefheid van zijn wegen moest een kwalificatie van de gemeten stroefheid worden opgesteld.

In 1936 werd op zuiver subjectieve gronden ('geen aanleiding tot klachten') de onderste grens van voldoende stroef bij 0,44 gelegd.

In 1946 werd een meer gedetailleerde kwalificatie voor de wrijvingscoëfficiënt f opgesteld:

$f < 0,31$	=	gevaarlijk
0,31 t/m 0,35	=	zeer glad
0,36 t/m 0,40	=	glad
0,41 t/m 0,45	=	vrij glad
0,46 t/m 0,50	=	matig stroef
0,51 t/m 0,60	=	stroef
$> 0,60$	=	zeer stroef.

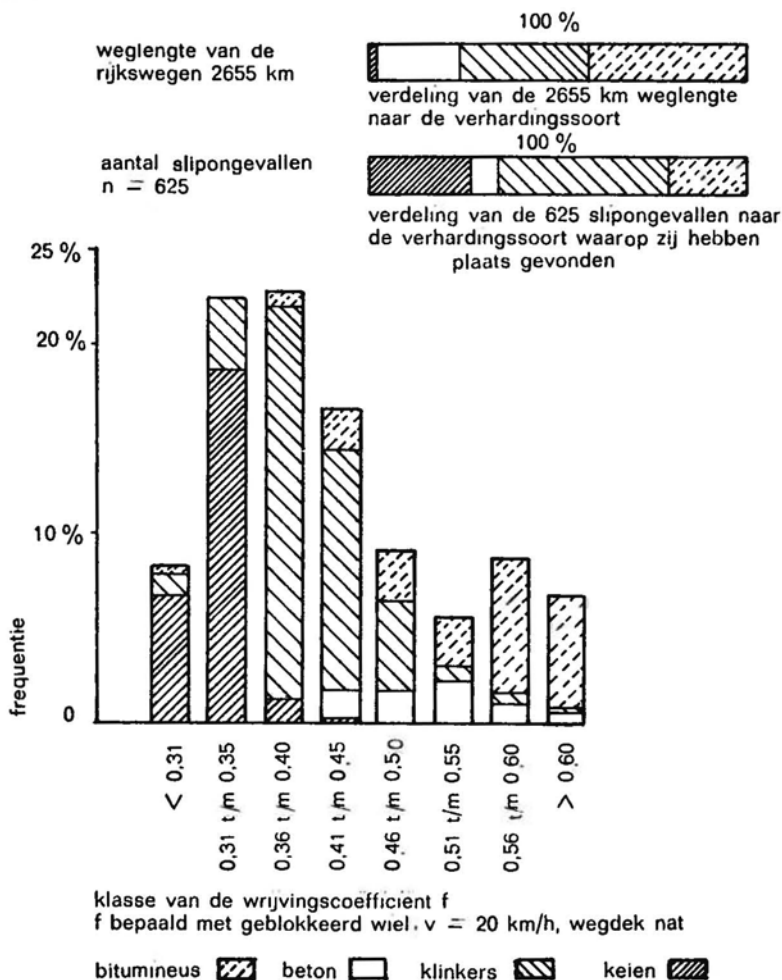
Het verhogen van de richtwaarde van 0,44 naar 0,46 geschiedde om een meer 'gepolijste' indeling te verkrijgen, en niet om de eis te verzwaren.

Na 1958 werd de meetmethode gewijzigd. Daarbij bleek dat voor eenzelfde wegdek de numerieke uitkomsten voor de beide meetmethoden verschillend waren. Met de nieuwe methode werd in het algemeen een 15 à 16 % hogere waarde gevonden. Men heeft toen een nieuwe kwalificatie voor de wrijvingscoëfficiënt f opgesteld:

$f < 0,36$	=	gevaarlijk
0,36 t/m 0,40	=	zeer glad
0,41 t/m 0,45	=	glad
0,46 t/m 0,50	=	vrij glad
0,51 t/m 0,55	=	matig stroef
0,56 t/m 0,70	=	stroef
$> 0,70$	=	zeer stroef.

Sinds 1954 wordt het rijkswegennet – met uitzondering van een aantal secundaire wegen – systematisch ieder jaar gemeten. Thans omvat dit onderzoek ongeveer 2000 meetvakken (van ongeveer 100 m lengte) op ongeveer 3500 km weglengte. Uiteraard wilde het Rijkswegenbouwlaboratorium nagaan of de opgestelde kwalificaties juist waren. Sinds omstreeks 1950 worden hiertoe uit de door de politie aan het Centraal Bureau voor de Statistiek gerapporteerde ongevallen op rijkswegen door de Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat die ongevallenformulie-

Figuur 10. Frequentieverdeling van de wrijvingscoëfficiënten gemeten op de wegvakken van rijkswegen waar slipongevallen hebben plaats gevonden in het jaar 1952



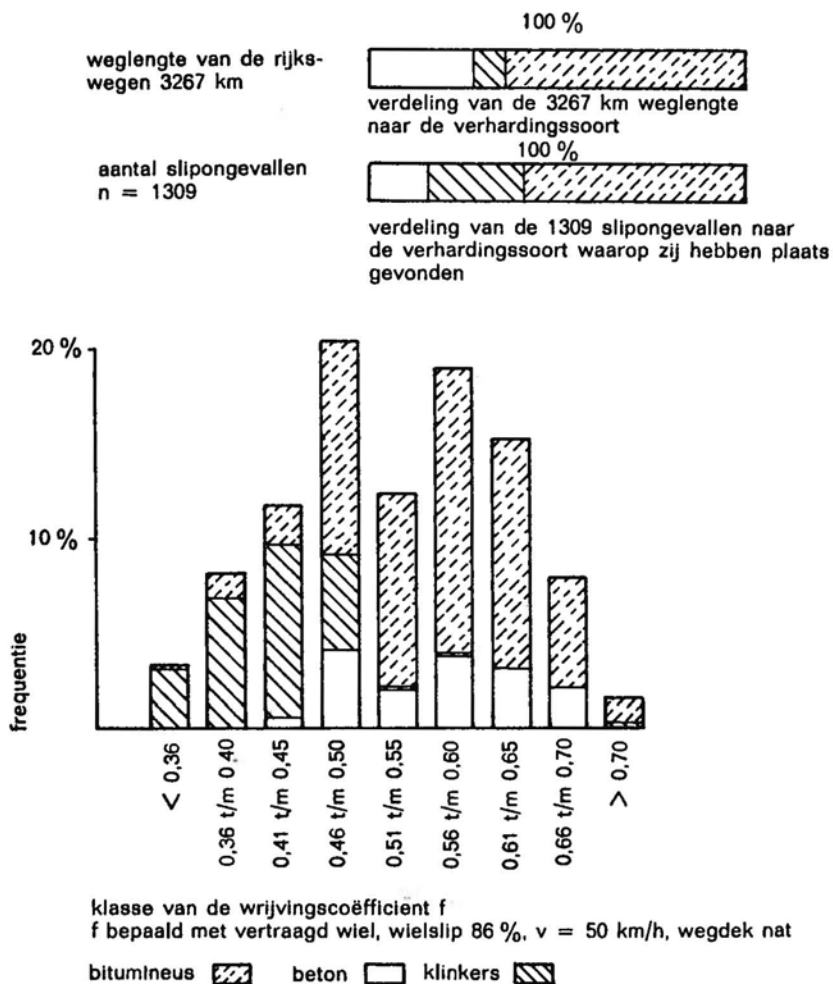
ren afgezonderd waarbij naar het inzicht van deze dienst slippen was opgetreden echter met uitzondering van de ongevallen op een besneeuwd of beijzeld wegdek. Deze formulieren worden aan het Rijkswegenbouwlaboratorium ter inzage gegeven.

Op de plaatsen waar deze slipongevallen hebben plaatsgevonden worden zo spoedig mogelijk stroefheidsmetingen verricht.

Bij ongeveer 8 % van de ongevallenformulieren is door verschillende omstandigheden - onduidelijke plaatsaanduiding of wijziging in verharding - geen meting verricht; deze 8 % is verder buiten beschouwing gelaten.

De resultaten van deze metingen in 1952 en 1961 zijn als frequentieverdelingen gegeven in de figuren 10 en 11, blz. 43 en 44 [8.15].

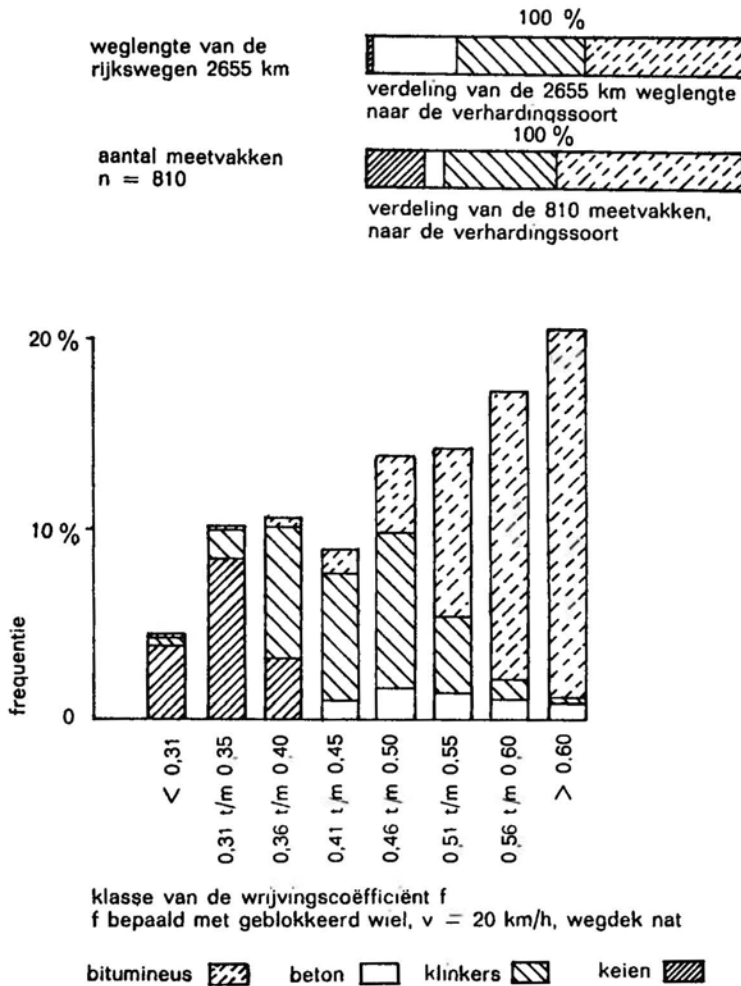
Figuur 11. Frequentieverdeling van de wrijvingscoëfficiënten gemeten op wegvakken van rijkswegen waar slipongevallen hebben plaats gevonden in het jaar 1962



Na 1961 was het niet meer mogelijk kort na het ongeval ter plaatse te gaan meten, doordat verschillende vertragingen in de keten van berichtgeving optraden. Uit de figuur 10 gegeven frequentieverdeling blijkt dat in 1952 70 % van de gemeten wrijvingscoëfficiënten beneden de richtwaarde liggen (hier nog 0,46, gemeten met een geblokkeerd wiel en 20 km/h). In 1961 echter liggen volgens figuur 11 nog maar 44 % van de gemeten wrijvingscoëfficiënten beneden de richtwaarde (thans 0,51, gemeten met 86 % langsslip en 50 km/h).

In 1952 had men nog voldoende aan deze frequentieverdeling om hierop te kunnen baseren dat de gekozen richtwaarde juist was. In 1961 is dit zeer zeker niet

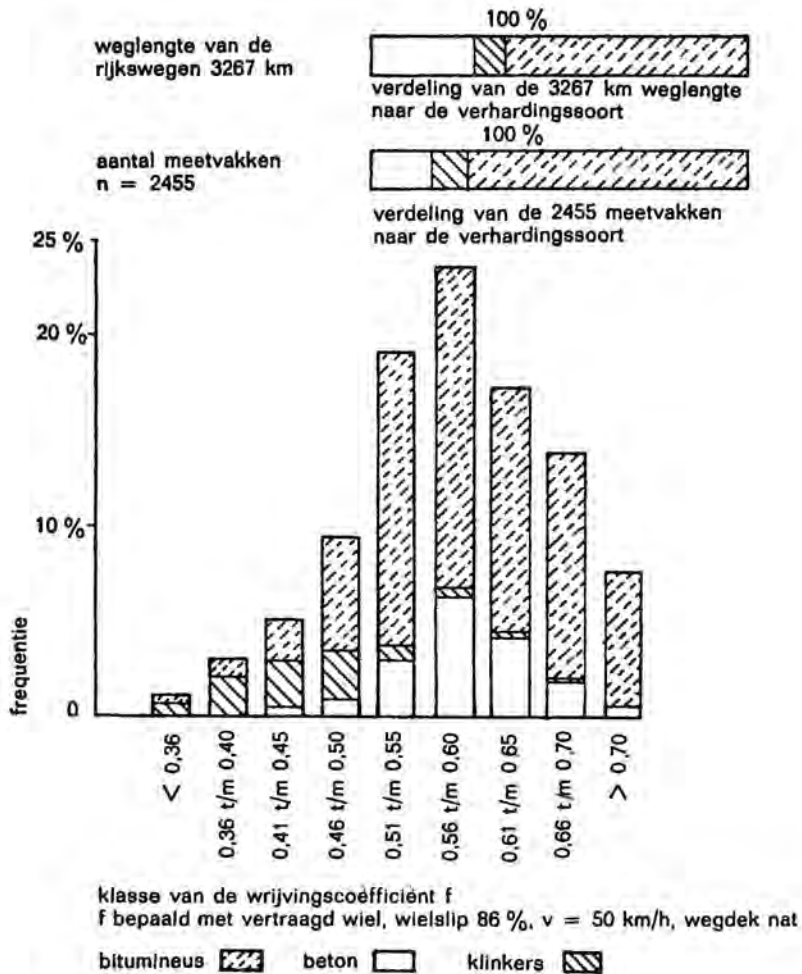
Figuur 12. Frequentieverdeling van de wrijvingscoëfficiënten gemeten op rijkswegen in het jaar 1952



meer het geval. De verschuiving van de frequentieverdeling werd voor een groot gedeelte veroorzaakt door een verbetering van de stroefheidstoestand van de rijkswegen. Dit blijkt uit de figuren 12 en 13, blz. 45 en 46 [8.15].

Om toch een inzicht te verkrijgen in de juistheid van de richtwaarden heeft men het begrip slipfrequentiefactor vastgesteld. Deze is gedefinieerd als quotiënt van het percentage van het aantal wrijvingscoëfficiënten gemeten waar slipongevallen hebben plaatsgevonden en het percentage van de wrijvingscoëfficiënten gemeten op vakken van rijkswegen. Hierbij zijn de kolommen van de figuren 10 en 12 voor 1952 en de figuren 11 en 13 voor 1961 gebruikt, zie tabel 2, blz. 47 [8.15].

Figuur 13. Frequentieverdeling van de wrijvingscoëfficiënten gemeten op rijkswegen in het jaar 1961



De vrij scherpe stijging van de slipfrequentiefactor wanneer de stroefheid beneden de richtwaarden komt (zowel in 1952 als in 1961) wordt door het Rijkswegenbouwlaboratorium gezien als een aanwijzing dat de gehanteerde richtwaarden alleszins verantwoord zijn.

Tabel 2. Relatie tussen de stroefheid van het rijkswegennet als geheel en de stroefheid van wegvakken waarop slipongevallen plaats vonden in de jaren 1952 en 1961

klasse van de wrijvingscoëfficiënt	percentage van het aantal wrijvingscoëfficiënten gemeten op vakken van rijkswegen waar slipongevallen hebben plaats gevonden		percentage van het aantal wrijvingscoëfficiënten gemeten op vakken van rijkswegen		relatieve slipfrequentiefactor	
	in 1952	in 1961	in 1952	in 1961	in 1952	in 1961
< 0,31	8,3	—	4,4	—	1,9	—
0,31 t/m 0,35	22,4	—	10,1	—	2,2	—
< 0,36	—	3,3	—	1,1	—	3,0
0,36 t/m 0,40	22,7	8,2	10,6	3,0	2,1	2,7
0,41 t/m 0,45	16,5	11,8	8,9	5,1	1,9	2,3
0,46 t/m 0,50	9,1	20,4	13,9	9,4	0,7	2,2
0,51 t/m 0,55	5,6	12,4	14,3	19,1	0,4	0,7
0,56 t/m 0,60	8,7	19,0	17,3	23,6	0,5	0,8
> 0,60	6,7	—	20,5	—	0,3	—
0,61 t/m 0,65	—	15,3	—	17,3	—	0,9
0,66 t/m 0,70	—	8,0	—	13,8	—	0,6
> 0,70	—	1,6	—	7,6	—	0,2

5.6 Beschouwingen over de resultaten van de besproken onderzoeken

5.6.1 Inleiding

Naast hetgeen in de voorgaande paragrafen is beschreven zijn in diverse landen nog andere studies verricht, die met de genoemde onderzoeken gemeen hadden, dat een verband werd aangetoond tussen de stroefheid van wegdekken en het plaatsvinden van (slip)ongevallen. De nauwkeurigheid van de resultaten van deze onderzoeken is afhankelijk van de betrouwbaarheid van de ongevalgegevens en van de wijze van onderzoek. Veelal wordt de onderzoeksmethode aangepast aan de beschikbare gegevens uit de ongevallen- en wegenstatistieken. Hoewel het juist zou zijn om een groter aantal invloedsgrootheden in het onderzoek te betrekken, moest dit meestal achterwege blijven, hetzij in verband met de omvang van de metingen en de daarmee samenhangende hoge kosten, hetzij doordat praktische uitvoering daarvan om andere redenen uitgesloten was. Een aantal van deze factoren zal in de navolgende paragrafen worden besproken.

5.6.2 Criterium voor het signaleren van slipongevallen

Indien men het verband tussen de stroefheid van een wegdek en het optreden van slipongevallen wil aantonen dient het verschijnsel slippen gesignaleerd te worden.

Uit de definitie van 'slippen' op blz. 14 blijkt reeds dat het bij rapportering over een ongeval moeilijk is vast te stellen of werkelijk van een slipongeval sprake is. De Engelse politiemans geeft op grond van een nauwkeurig omschreven instructie in zijn rapport aan of het ongeval als een slipongeval was te kwalificeren. De Engelse ongevallenstatistiek kent dan ook de categorie 'slipongevallen'. Op grond van de frequentie van voorkomen naar plaats van deze slipongevallen heeft men 'skid accident sites' gesignaleerd.

In Nederland kent de ongevallenstatistiek niet de categorie 'slipongevallen', maar in gevallen waarin klaarblijkelijk van 'slippen' sprake is, wordt dit veelal in het proces-verbaal vermeld. Daarom werden voor het Nederlandse onderzoek de slipongevallen op rijkswegen geselecteerd op grond van de omschrijving van het ongeval in het proces-verbaal. Indien hieruit bleek dat slippen bij het ontstaan van het ongeval een belangrijke rol heeft gespeeld, werd het gebeuren als slipongeval aangemerkt.

In Duitsland komt 'slippen' als zodanig niet in de ongevallenstatistiek voor. Ten einde te kunnen uitgaan van objectieve gegevens, waardoor ook automatisering in de verwerking mogelijk was, heeft men het begrip 'relatieve ongevallenfrequentie' voor natte wegdekken gedefinieerd en als criterium gekozen. Om voor verschillende wegvakken deze relatieve ongevallenfrequentie te vergelijken zou men rekening moeten houden met de klimatologische variaties naar tijd en plaats. Dit is echter voorzover bekend niet gedaan.

In de Verenigde Staten (Texas) heeft men in een vooronderzoek geconstateerd dat er weinig verschil is tussen de aangelegde criteria: alle ongevallen, ongevallen op nat wegdek, slipongevallen. (Indien dit werkelijk zo is, zijn er twee mogelijkheden: of het aantal ongevallen op nat wegdek maakt een zeer groot percentage uit van het totaal aantal ongevallen en de ongevallen op nat wegdek zijn vrijwel allemaal slipongevallen, of er bestaat weinig verband tussen stroefheid en ongevallen. Dus een onderzoek zoals het Duitse zou dan weinig of geen resultaten kunnen opleveren). Op grond van dit vooronderzoek werd wederom terwille van de eenvoud in de bewerking van de vele gegevens, uitgegaan van het totaal aantal ongevallen en, in verband met de beperkte registratie, tevens van alle ongevallen met letsel.

Uit het voorgaande blijkt dat het moeilijk is een criterium vast te stellen voor het signaleren van slipongevallen. Onnauwkeurigheden in de onderzoeksmethodiek en in de ongevalgegevens kunnen leiden tot een zekere spreiding in de resultaten, waardoor natuurlijk de significantie van het verband tussen de stroefheid en slipongevallen ongunstig wordt beïnvloed. Men zal dan ook meestal een zekere spreiding als feit moeten aanvaarden en bij de interpretatie van de onderzoekresultaten daarmee rekening moeten houden.

5.6.3 De invloed van de verkeersintensiteit

Omdat het ongeval een kansverschijnsel is, zodat de frequentie van optreden op een bepaalde plaats mede afhankelijk is van het aantal passerende voertuigen, is de verkeersintensiteit een belangrijke factor bij het maken van ongevalstudies.

Bij het onderzoek in de Verenigde Staten wordt de ongevallenkans dan ook uitgedrukt in het aantal ongevallen per miljoen afgelegde voertuigmijlen.

Indien de verkeersintensiteit in het Duitse onderzoek betrokken zou zijn geweest, zouden in het op blz. 36 gedefinieerde quotiënt het aantal voertuigkilometers zowel in de teller als in de noemer zijn voorgekomen. Omdat men veronderstelde dat de verhoudingen van de intensiteiten op wegvakken in droge en in natte toestand overal gelijk zouden zijn, heeft men deze verhouding niet in rekening gebracht, vanwege de problemen welke optraden bij het verzamelen van de hier toe benodigde gegevens. Hierbij moet worden opgemerkt dat de vorm van de relatie tussen de ongevallenkans en de verkeersintensiteit niet lineair is. Ten gevolge hiervan is de relatieve ongevallenfrequentie voor nat wegdek niet alleen afhankelijk van de stroefheid, maar ook van de grootte van de respectievelijke verkeersintensiteiten op droog en nat wegdek.

In het eerstgenoemde Engelse onderzoek wordt de verkeersintensiteit niet betrokken, omdat men niet het aantal ongevallen, maar de ongevalsplaatsen relateerde met de stroefheid. In het tweede Engelse onderzoek is de verkeersintensiteit eveneens niet verdisconteerd, doch dit is geoorloofd als men aanneemt dat het percentage slipongevallen (op nat wegdek) niet afhankelijk is van de verkeersintensiteiten.

Ook in het Nederlandse onderzoek werd met de verkeersintensiteit geen rekening gehouden.

5.6.4 De invloed van de wegsituatie

Gaat men uit van de veronderstelling dat bij verschillende wegsituaties voor de weggebruiker ook verschillende minimale wrijvingscoëfficiënten noodzakelijk kunnen zijn, dan zullen tevens de beschikbare wrijvingscoëfficiënten moeten verschillen om dezelfde kans op (het optreden van) slippen op de verschillende weggedeelten te verkrijgen. Op grond hiervan zou men voor de verschillende wegsituaties en wegtypen gedifferentieerde stroefheidsaanbevelingen kunnen opstellen. Indien de ongevallenonderzoeken niet worden gesplitst naar de wegsituatie, dan zal op grond hiervan verwacht kunnen worden dat een grotere spreiding in de resultaten optreedt.

Wellicht op praktische gronden is in geen van de onderzoeken een onderscheid gemaakt in de verschillende wegsituaties. Wel bleef het karakter van de in de onderzoeken betrokken wegen veelal hetzelfde, namelijk dat van hoofdverbindingswegen met snelverkeer.

Uit de Engelse studie, waarbij men een 'black spot'-onderzoek instelde, bleek dat zowel bij de ongevalsplaatsen als bij die van de controlegroep – beide gerangschikt naar wegsituatie (kruisingen, verkeerspleinen, hellingen, bochten, enz.) – weinig onderscheid was in de gemiddelde stroefheid. Op grond hiervan werden de verschillende wegsituaties in de totaalbeoordeling te zamen genomen.

5.6.5 De keuze van de in het onderzoek betrokken invloedsgrootheden

Voor het bereiken van een grote nauwkeurigheid in de onderzoekresultaten is het gewenst dat alle in de voorgaande paragrafen besproken factoren – te zamen met een aantal niet-genoemde – in het onderzoek worden betrokken.

Zoals echter reeds in 5.6.1 is aangestipt, geldt echter dat de gewenste nauwkeurigheid afgewogen moet worden tegen de hoeveelheid arbeid, de benodigde organisatie en de kosten die het betrekken van de invloedsgrootheden in het onderzoek met zich meebrengen. In bepaalde gevallen zal zelfs de praktische uitvoerbaarheid in het gedrang komen indien met alle mogelijke invloedsgrootheden rekening moeten worden gehouden.

Bij de onderzoekopzet zal dan ook vaak een compromis moeten worden gesloten, waardoor de nauwkeurigheid van de resultaten kleiner kan worden.

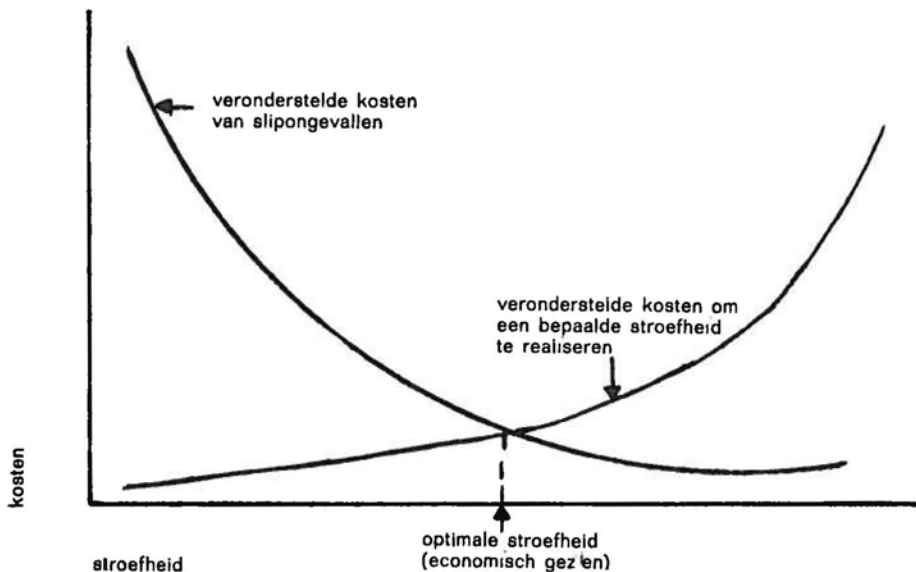
5.6.6 De keuze van de richtwaarde voor de stroefheid

Uit hetgeen in de voorgaande paragrafen werd besproken is wel duidelijk geworden dat de (slip)ongevallenkans afneemt bij een toenemende stroefheid van de weg. Uit verkeersveiligheidsoogpunt dient de weg dus zo stroef mogelijk te zijn, liefst onder alle omstandigheden.

Door de technische mogelijkheden worden echter grenzen gesteld aan de maximale stroefheid. Ook nemen de kosten voor het bereiken (en handhaven) van een bepaalde stroefheid toe met het hoger worden van die stroefheid.

Vanuit economisch standpunt bezien zal er dan ook een optimale stroefheid zijn: namelijk daar waar het snijpunt ligt van de lijn die het verband weergeeft tussen de stroefheid en de kosten om die stroefheid te realiseren en te handhaven en

Figuur 14. Voorbeeld van het bepalen van de optimale stroefheid vanuit economisch standpunt



de lijn die het verband weergeeft tussen de stroefheid en de kosten van de slipongevallen bij die stroefheid (figuur 14) [8.16].

Aangezien ongevallen niet alleen economische schade berokkenen maar ook veel persoonlijk leed veroorzaken, is het de vraag of deze methode voor het vaststellen van een stroefheidseis voor wegdekken wel ethisch verantwoord is en of men daarom – ondanks hogere kosten – niet toch naar een hogere (minimum) stroefheid moet streven.

Of deze berekening mogelijk zal zijn en of de bovenstaande vraag dan nog relevant is, kan met de huidige kennis over de vorm van de relatie tussen de (slip)ongevallenkans en de stroefheid echter niet worden uitgemaakt.

Toch is het mogelijk met de verkregen inzichten reeds nu voorlopige maatregelen voor te stellen, de stroefheid van het wegdek betreffende, die kunnen leiden tot een vermindering van het aantal slipongevallen (zie verder hoofdstuk 6).

Voor het doen van definitieve aanbevelingen voor maatregelen die het slipprobleem moeten verminderen is echter nog uitgebreid en grondig onderzoek noodzakelijk (zie verder hoofdstuk 7).

6 Consequenties voor Nederland

Uit de tot nu toe gedane onderzoeken is niet exact af te leiden, hoe groot in Nederland de omvang van het verschijnsel slippen is. Uit onder meer het onderzoek van het Rijkswegenbouwlaboratorium (paragraaf 5.5) is wel duidelijk dat het slippen, in het bijzonder op natte wegdekken, aanleiding geeft tot een niet onbelangrijk aantal ongevallen. Maatregelen om het aantal slipongevallen te verminderen zijn dan ook noodzakelijk. Uit het onderzoek van het Rijkswegenbouwlaboratorium volgt ook dat bepaalde maatregelen nu reeds kunnen worden genomen.

Zoals reeds in de inleiding is aangegeven, zijn twee soorten van maatregelen mogelijk:

- a) het verminderen van de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten;
- b) het verhogen van de beschikbare wrijvingskrachten.

6.1 Verminderen van het aantal noodzakelijke wrijvingskrachten

Uit hoofdstuk 2 blijkt dat het menselijk gedrag – dat de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten bepaalt – van zeer veel factoren afhankelijk is.

Daar de eerder genoemde onderzoeken alle betrekking hebben op de beschikbare wrijvingskrachten – en op één na de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten zelfs geheel buiten beschouwing laten – is het zeer moeilijk nu reeds algemeen geldende maatregelen voor het beïnvloeden van het menselijk gedrag aan te geven. Plaatselijk, meestal daar waar veel (slip)ongevallen gebeuren, wordt wel getracht de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten te verminderen, bijvoorbeeld door het veranderen van de geometrie van de weg (onder andere het reconstrueren van kruispunten), een betere signalering van discontinuïteiten en eventueel het instellen van snelheidsbeperkingen.

Zeer vaak zullen deze maatregelen, doordat ze het gehele gedrag van de weggebruikers kunnen beïnvloeden, ook op andere ongevallen dan alleen maar de slipongevallen invloed kunnen hebben.

Voor het meer gericht aanpakken van het probleem van de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten zal nog veel onderzoek moeten worden uitgevoerd. Deze onderzoeken zullen in het kader van andere onderwerpen door de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid worden uitgevoerd. De werkgroep Banden, wegdekken en slipongevallen, zal zich in eerste instantie met de meer technische onderzoeken bezig houden (zie hoofdstuk 7).

6.2 Verhogen van de beschikbare wrijvingskrachten

Uitgaande van het menselijk gedrag kan worden gesteld dat, om de marge tussen de minimaal noodzakelijke en beschikbare wrijvingskrachten zo groot mogelijk te doen zijn, het nodig is dat de beschikbare wrijvingskrachten zo hoog mogelijk zijn. Zoals uit hoofdstuk 3 blijkt, worden de beschikbare wrijvingskrachten in hoofdzaak bepaald door de eigenschappen van banden en wegdekken.

Het inzicht dat de band hierbij een belangrijke rol speelt, heeft er reeds toe geleid dat in de 'Richtlijnen gebruikstoestand banden' [8.17], een eis is opgenomen ten aanzien van de profilering in het loopvlak van banden.

Voor de banden van lichtere auto's (in het algemeen personenauto's) geldt de eis dat het gehele loopvlak moet zijn voorzien van een goed zichtbare profilering. De loopvlakken van banden van autobussen en vrachtauto's mogen volgens de nu geldende richtlijnen geheel gesloten zijn – dus zonder profilering – mits het karkas niet zichtbaar is.

Er zal nog nader onderzoek nodig zijn om te kunnen bepalen of deze voorschriften voor de profilering met betrekking tot slippen voldoende zijn. Ook zal uit nader onderzoek moeten blijken of het nodig en mogelijk is nog andere (functionele) eisen aan (nieuwe) banden en eventueel voertuigen te stellen (zie hoofdstuk 7).

Wat het wegdek betreft, zijn er in Nederland plaatselijk grote verschillen in de beschikbare wrijvingscoëfficiënten (stroefheden). Zo bestaan er verschillen tussen stroefheden van de diverse soorten wegdekverhardingen, maar ook zijn er spreidingen binnen elke soort wegdekverharding (bijvoorbeeld gladde plekken door slijtage van het wegdek) zie bijvoorbeeld de figuren 12 en 13 (blz. 45 en 46). Uit verschillende onderzoeken (onder meer uit snelheidsmetingen van de SWOV) is gebleken dat het menselijk verkeersgedrag nauwelijks of niet wordt beïnvloed door de stroefheidseigenschappen van het wegdek, indien de andere omstandigheden gelijk zijn. Zo zijn de gereden snelheden op droge en natte wegdekken – waarvan de stroefheden aanzienlijk kunnen verschillen – bij overigens gelijkblijvende omstandigheden vrijwel gelijk (zie paragraaf 2.2).

Concluderend kan ook worden gezegd dat het zeer wenselijk zou zijn, indien de stroefheden van de wegdekken naar plaats en naar tijd zo uniform en hoog mogelijk zijn.

Om hiernaar te kunnen streven moeten alle wegbeheerders in Nederland op de hoogte zijn van de stroefheidstoestand van de onder hun beheer staande wegen. Van nieuwe wegen dienen zij de stroefheid vóór de openstelling te kennen.

Thans kennen echter alleen de beheerders van de rijkswegen en van de secundaire wegen in de provincies en in een aantal gemeenten, waarvan de stroefheid bij openstelling en verder jaarlijks door het Rijkswegenbouwlaboratorium wordt gemeten (zie paragraaf 5.5), de stroefheid van de wegen die onder hun beheer staan.

Aan de stroefheidsmetingen wordt een bepaalde kwalificatie gekoppeld, die aangeeft welke stroefheden wel of niet toelaatbaar zijn. Zoals reeds in paragraaf 5.6 is uiteengezet, is thans nog niet definitief te bepalen welke stroefheid nog als toelaatbaar minimum kan worden beschouwd.

Vooruitlopend op het te verrichten onderzoek acht de werkgroep het wenselijk voor alle wegen als voorlopige richtwaarde de door het Rijkswegenbouwlaboratorium gehanteerde waarde van 0,51 (gemeten bij 86 % langsslip met 50 km/h op nat wegdek) aan te bevelen. Dit zou tevens de zo gewenste uniformiteit bevorderen.

Voor het definitief bepalen van de richtwaarde(n) en de meetmethode(n) zal meer onderzoek nodig zijn. Ook onderzoek naar de voertuigeigenschappen die de beschikbare wrijvingskracht kunnen verhogen is nodig. Deze onderzoeken worden thans door de werkgroep voorbereid (zie hoofdstuk 7).

7 Onderzoekprogramma werkgroep Banden, wegdekken en slipongevallen

7.1 Inleiding

Uit de voorgaande hoofdstukken blijkt wel dat er zeer vele factoren zijn die een rol spelen bij het slippen. Naar de invloed van deze factoren zijn en worden vele onderzoeken gedaan. Deze onderzoeken zijn veelal gericht op de invloed van één enkele factor, waarbij de andere factoren zoveel mogelijk constant worden gehouden of verondersteld (enkelefactoronderzoek).

Deze onderzoeken hebben zeker bijgedragen tot een vermeerdering van de kennis over het probleem slippen, doch de onderlinge samenhang van de factoren en het gewicht van de verschillende factoren komen uit een dergelijk onderzoek vaak niet naar voren. Dit heeft tot gevolg dat de interpretatie van de onderzoekresultaten wel eens moeilijkheden oplevert, wat de oorzaak zal zijn van het feit dat de verschillende nationale onderzoekinstanties op het gebied van slippen elkaar soms tegenspreken.

Het is daarom nodig te komen tot een veelomvattend statistisch onderzoek van de eerste orde factoren die een rol spelen bij het slippen. De meest efficiënte methode voor dit onderzoek zal zijn een statistisch multifactoronderzoek (VI).*) Het kiezen van de eerste orde factoren voor dit onderzoek is echter pas mogelijk wanneer men voldoende kennis over het probleem heeft verzameld. Deze kennis kan voor een deel worden geput uit reeds uitgevoerde onderzoeken. Voor een ander deel zal deze moeten worden verzameld door middel van zelf uit te voeren (voor)onderzoeken die dan of zeer zorgvuldig uitgevoerde enkelefactoronderzoeken of beperkte multifactoronderzoeken zullen zijn.

Enkele van deze vooronderzoeken kunnen reeds van nut zijn voor de overheid om daar richtlijnen of aanbevelingen op te baseren. Bij de bepaling van de prioriteiten moet er dan ook van worden uitgegaan dat deze onderzoeken de hoogste prioriteit krijgen (zie paragraaf 7.4).

Uit de onderzoekopdracht van de werkgroep (zie het voorwoord) valt af te leiden dat de werkgroep zich zal moeten beperken tot onderzoek naar de overwegend technische factoren die een rol spelen bij het slippen. De overwegend menselijke factoren zullen dus in het onderzoekprogramma van de werkgroep niet direct zijn vertegenwoordigd. Wel zullen de resultaten van onderzoeken op dit gebied bekend moeten zijn bij de werkgroep, daar anders het gevaar bestaat dat de keuze van de eerste orde factoren niet realistisch is. Om deze reden wordt er in dit hoofdstuk toch aandacht aan onderzoek naar het verkeersgedrag van de weggebruiker besteed.

*) De Romeinse cijfers tussen haakjes verwijzen naar 7.5.1: Tabellarisch overzicht.

7.2 Experimenteel onderzoek

7.2.1 Onderzoeken naar de beschikbare wrijvingskrachten

7.2.1.1 Voertuigfactoren (van belang voor de beschikbare wrijvingskrachten)

Van de voertuigfactoren zijn de banden van zeer grote invloed op de beschikbare wrijvingskrachten. De relevante bandfactoren zijn:

- a) toestand loopvlak (profieling, slijtagetoestand);
- b) bandconstructie (diagonaal-, radiaalbanden, rubbersoort);
- c) bandspanning (als percentage van aanbevolen waarde);
- d) wielbelasting.

Hierbij zal onderscheid gemaakt moeten worden tussen de banden voor personenauto's en die voor vrachtauto's. Ook de rijnsnelheid is van groot belang.

Om tot de meest efficiënte onderzoeksmethode te komen is het wenselijk deze factoren, samen met de wegdekfactoren (7.2.1.2) in één experimenteel multifactoronderzoek te betrekken (I).

Voor dit onderzoek kan aanvangen is het echter nodig een voor dit onderzoek bruikbare klassificatie van de bandfactoren op te stellen (Ia).

7.2.1.2 Wegfactoren (van belang voor de beschikbare wrijvingskrachten)

Van de wegfactoren is het wegdek van zeer grote invloed op de beschikbare wrijvingskrachten. Ook deze wegdekfactoren zullen moeten worden opgenomen in het onder 7.2.1.1 genoemde experimenteel multifactoronderzoek (I). Hiertoe moeten echter eerst ook de wegdekfactoren worden geclassificeerd (Ib).

De stroefheid van het wegdek is uiteraard de belangrijkste wegfactor, van invloed op de beschikbare wrijvingscoëfficiënt. Deze stroefheid wordt in hoge mate bepaald door de geaardheid van het wegdekoppervlak. Al naar gelang vorm en afmetingen van de oneffenheden in dit oppervlak zullen de in paragraaf 3.2 genoemde componenten van de optredende wrijvingskrachten (t.w. de adhesie-, de hysteresis- en de cohesiecomponent) verschillende waarden aannemen. Daarnaast wordt ook de waterafvoer tussen band en wegdek (dynamische drainage) grotendeels door de geaardheid van het wegdekoppervlak beïnvloed, alsmede de statische drainage, hoewel bij deze laatste eigenschap ook de vlakheid van de weg en de verkanting een grote rol spelen.

Het meten en klassificeren van de geaardheid van een wegdek in de ruimste zin zal het onderwerp zijn van ontwikkelingsonderzoek (IV). Van speciaal belang is het ontwikkelen van eenvoudige apparatuur voor het meten van het drainerend vermogen, daar de dynamische drainage bepalend is voor de gradiënt van de wrijvingscoëfficiënt als functie van de snelheid. Men zal dan kunnen volstaan met het meten van de wrijvingscoëfficiënt bij lage snelheid en het meten van de drainagekarakteristiek, om daaruit de wrijvingscoëfficiënt bij hoge snelheid te kunnen extrapoleren. Om deze methode te verifiëren zullen ook stroefheidsmetingen bij hoge snelheden worden uitgevoerd (onderdeel van I).

7.2.2 Onderzoeken naar de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten

7.2.2.1 Menselijk verkeersgedrag

Bij de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten spelen de menselijke factoren een zeer grote rol (zie hoofdstuk 2). Hoewel de waarnemingen van het menselijk gedrag niet direct tot het onderzoekprogramma van de werkgroep behoren, wordt er hier toch aandacht aan besteed, daar er kennis over aanwezig moet zijn indien men een juiste keuze van eerste orde factoren voor het statistisch multi-factoronderzoek wil maken. Het ligt in de bedoeling dat door of namens de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid metingen zullen worden verricht aan de in het verkeer optredende langs- en dwarsversnellingen of vertragingen. Dit kan geschieden, zowel door voertuigen uit te rusten met versnellingsopnemers en deze door proefpersonen in het normale verkeer te laten bedrijven, als door analyse van filmopnamen van het verkeer (III). Deze versnellingen en vertragingen kunnen worden gerelateerd aan het voertuigtype en de optredende weg- en verkeerssituaties. Hierdoor kan men een indruk krijgen van het verkeersgedrag van weggebruikers voor zover dat van belang is voor het slippen.

7.2.2.2 Benutten van de beschikbare wrijvingskrachten

Er bestaat een relatie tussen de optredende langs- en dwarsversnellingen of -vertragingen enerzijds en de daarvoor benodigde wrijvingskrachten tussen banden en wegdekken anderzijds. Deze relatie wordt beïnvloed door verschillende eigenschappen van voertuigen. Deze voertuigeigenschappen hebben echter meestal een sterke terugkoppeling met het menselijk gedrag, waardoor overheidsrichtlijnen of aanbevelingen op dit gebied voorlopig moeilijk gerealiseerd kunnen worden.

Slechts een onderzoek naar de relatie tussen de remkrachtverdelingen over de voor- en achterwielen en linker- en rechterwielen enerzijds en de bereikbare remvertragingen en stabiliteit van het voertuig anderzijds komt in aanmerking, daar hier vermoedelijk weinig of geen terugkoppeling met het menselijk gedrag bestaat (II), en hiervoor dus gemakkelijker richtlijnen kunnen worden gegeven.

7.3 Statistisch onderzoek naar ongevallen

7.3.1 Statistisch onderzoek naar het verband tussen stroefheid en ongevallenkans

De onderzoeken genoemd in hoofdstuk 5 zijn alle gericht op het vinden van het bovengenoemde verband, of een overeenkomstige grootheid. Het is aannemelijk dat dit verband bestaat en betrekkelijk eenvoudig moet zijn. De bovengenoemde onderzoeken hebben echter geen van alle een bevredigend resultaat. Dit komt doordat het verband alleen gevonden kan worden indien alle andere technische

factoren die van invloed zijn op de (slip)ongevallenkans constant zijn of worden gehouden. Dit is bij deze onderzoeken niet het geval.

De werkgroep wil daarom een zo goed mogelijk enkelfactoronderzoek uitvoeren naar de relatie tussen de stroefheid en de ongevallenkans bij die stroefheid (V). Deze ongevallenkans wordt gedefinieerd als het totaal aantal ongevallen per (miljoen) kilometers, op een wegdek van die stroefheid. De andere invloedsfactoren zullen zo veel mogelijk constant gekozen worden. Hiertoe zal een aantal ongevallen op zorgvuldig gekozen weggedeelten worden gerelateerd aan de stroefheid van het wegdek op het moment van het ongeval.

Om de spreiding in het menselijk gedrag – welk gedrag immers de minimaal noodzakelijke wrijvingskrachten bepaalt – zoveel mogelijk te kunnen beperken, zal het onderzoek moeten plaatsvinden op rechte weggedeelten zonder discontinuïteiten en met ongeveer dezelfde verkeerssamenstelling en intensiteiten. Dit zal echter moeilijkheden opleveren.

1. Het zal namelijk moeilijk zijn weggedeelten te vinden van gelijke geometrie en met gelijke verkeersintensiteit en -samenstelling.
2. Indien deze weggedeelten worden gevonden zal het door geringe lengte en/of het geringe aantal ervan lang kunnen duren voor er voldoende evidentie gevonden wordt in ongevallenkans. Er bestaat dan tevens het gevaar dat één of meer factoren in die tijd zullen zijn veranderd.

Toch wordt het mogelijk geacht dit onderzoek uit te voeren op een aantal rijkswegen en wel met de volgende beschikbare gegevens:

- a) de resultaten van de stroefheidsmetingen van het Rijkswegenbouwlaboratorium, deze te zamen met de aldaar bekende gegevens over de verandering in wegverharding op de van belang zijnde weggedeelten;
- b) de ongevallengegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek;
- c) de kennis over een aantal rijkswegen voor wat betreft gereden snelheden, volgafstanden, verkeerssamenstellingen en -intensiteiten die bij de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid aanwezig is in verband met het onderzoek Snelheidslimieten.

Met deze gegevens is er hopelijk vrij snel een inzicht te verkrijgen in het verband tussen stroefheid en ongevallenkans.

7.3.2 Statistisch multifactoronderzoek van de eerste orde factoren

Dit onderzoek, dat reeds in de inleiding van dit hoofdstuk (zie paragraaf 7.1) ter sprake is gebracht, kan worden beschouwd als afsluiting van de activiteiten van de werkgroep.

Het zal mogelijk worden gemaakt door de gegevens die worden verkregen uit de eerder genoemde deelonderzoeken. Het multifactoronderzoek zal dienen voor het toetsen van de verschillende onderzoekresultaten en opgestelde hypotheses ten aanzien van het slippen.

7.4 Prioriteitenbepaling van de onderzoeken

Zoals reeds in paragraaf 7.1 is aangegeven zullen de deelonderzoeken verschillende prioriteiten hebben. Men kan komen tot de prioriteitsklassen 1, 2, 3 en 4.

Prioriteitsklasse 1:

Deelonderzoek waarvan de resultaten direct kunnen leiden tot praktische voorschriften of richtlijnen die van belang zijn voor de verkeersveiligheid.

Prioriteitsklasse 2:

Deelonderzoek waarvan de resultaten nog niet direct zullen leiden tot praktische voorschriften of richtlijnen die van belang zijn voor de verkeersveiligheid.

Prioriteitsklasse 3:

Deelonderzoek waarvan de resultaten alleen van belang zijn voor het afsluitende statistisch multifactoronderzoek.

Prioriteitsklasse 4:

Afsluitende statistisch multifactoronderzoek en ontwikkelingsonderzoek van eenvoudige meetapparatuur. Dit zijn onderzoeken waarvan de resultaten pas in een later stadium zullen kunnen worden toegepast.

Er zal gelijktijdig kunnen worden gewerkt aan onderzoeken in verschillende prioriteitsklassen.

7.5 Overzicht van de onderzoeken

7.5.1 Tabellarisch overzicht van het onderzoekprogramma

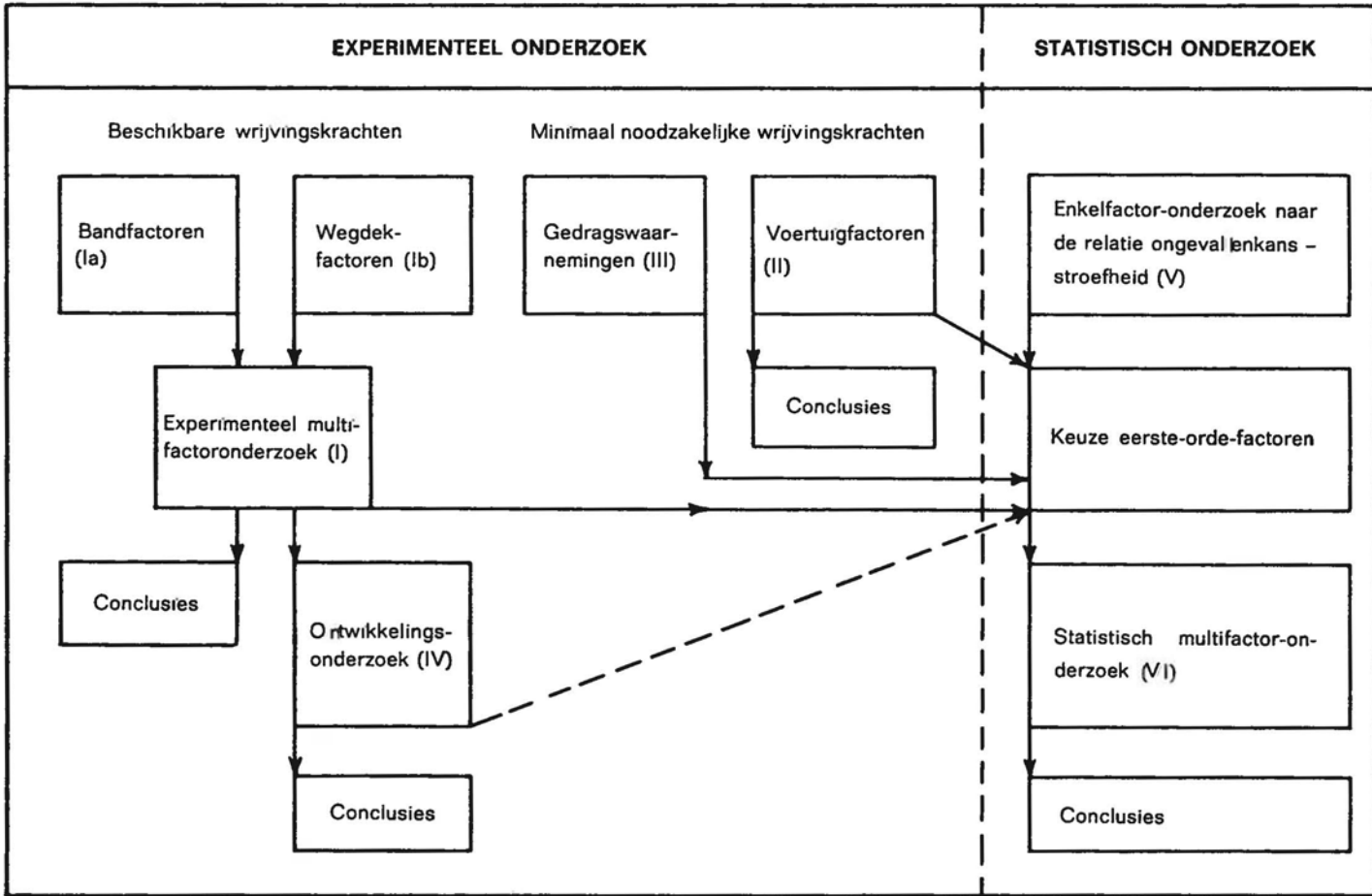
nr.	omschrijving	prioriteitsklasse	uitvoerende instanties *)
I	Onderzoek betreffende de relatie tussen de beschikbare wrijvingskrachten, de wegdek- en bandeigenschappen en de snelheid (experimenteel multifactoronderzoek)	1	Laboratorium voor Voertuigtechniek Rijkswegenbouwlaboratorium Laboratorium Wegen en Spoorwegen Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

*) Indien nodig zullen ook andere instanties buiten de werkgroep om advies worden gevraagd of in het onderzoek worden betrokken.

nr.	omschrijving	prioriteitsklasse	uitvoerende instanties *)
Vooronderzoeken voor I zijn:			
Ia	Classificatie van de bandfactoren	1	
Ib	Classificatie van de geaardheid van het wegdek	1	
II	Experimentele en analytische onderzoeken naar de relatie tussen de remkrachtverdelingen en de remkrachtvertraging en stabiliteit van het voertuig	2	Laboratorium voor Voertuigtechniek
III	Gedragswaarneming via versnellingsopnemers en filmopnamen	3	Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid
IV	Ontwikkelen van eenvoudige meetapparatuur	4	Laboratorium voor Voertuigtechniek Rijkswegenbouwlaboratorium
V	Statistische enkelfactoronderzoek naar de relatie tussen de ongevalenkans en stroefheid van het wegdek op rechte weggedeelten zonder discontinuïteiten	1	Rijkswegenbouwlaboratorium Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid
VI	Statistisch multifactoronderzoek van de eerste orde factoren die een rol spelen bij het slippen	4	Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid

7.5.2 Schematische weergave van het onderzoekprogramma

In figuur 15, blz. 61, is schematisch weergegeven hoe de verschillende onderzoeken met elkaar in verband staan.



Figuur 15. Schematische voorstelling van het onderzoekprogramma

8 Literatuur

Voor het samenstellen van dit rapport is uitvoerig gebruik gemaakt van de volgende, in de werkgroep Banden, wegdekken en slipongevallen, ingebrachte rapporten en artikelen:

8.1 Buis, P.: **Het slippen van automobielen en de wrijvingskrachten tussen band en wegdek.** Rapport P 073, Laboratorium voor Voertuigtechniek TH-Delft, augustus 1966.

8.2 Bree, J. C. de: **Stroefheidsmetingen op wegdekken.** Wegen, juli en september 1966.

8.3 Buis, P., Elsenaar, P. M.W.: **Factoren die het slippen beïnvloeden.** Overzicht ten behoeve van de werkgroep, december 1966.

8.4 Asmussen, E.: **Slippen als resultaat van het menselijk gedrag.** SWOV Research Memorandum nr. 414, ten behoeve van de werkgroep, 10 januari 1967.

8.5 Buis, P. Elsenaar, P. M. W., Han, B. T.: **Concept-voorstel van de werkgroep Banden, wegdekken en slipongevallen, om aanbevelingen verband houdende met de stroefheid van natte wegdekken, te verstrekken aan alle wegbeheerders.** Geschreven ten behoeve van de werkgroep, 6 april 1967.

8.6 Asmussen, E., Paar, H. G.: **Onderzoekprogramma van de werkgroep Banden, wegdekken en slipongevallen.** SWOV Research Memorandum nr. 656, ten behoeve van de werkgroep, 24 april 1967.

Verder is gebruik gemaakt van gegevens uit:

8.7 French, T.: **Gripping a wet road.** New Scientist. 11 Juli 1968.

8.8 **Influence of the amount of water on a pavement upon the coefficient of friction.** National Swedish Roal Research Institute.

8.9 **Report of Committee E-17 on Skid Resistance.** 67th Annual Meeting of the ASTM, June 21-26, 1964.

8.10 Schulze, R. N., Beckman, L.: **Zur Bewertung der Griffigkeit von nassen Strassenoberflächen.** Strassen und Autobahn. Heft 6, 1964.

- 8.11 **Merkblatt über Strassengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe.** Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen. Kommission Griffigkeitsanforderungen. Oktober 1966.
- 8.12 Giles, C. G.: **The skidding resistance of roads and the requirements of modern traffic.** Proc. Inst. Civ. Engineers, Vol. 6, Febr. 1957.
- 8.13 Sabey, B. E.: **Road surface characteristics and skidding resistance.** Journal of British Granite and Whinstone Federation. Vol. 5, nr. 2, Autumn 1965.
- 8.14 McCullough, B. F., Hankins, K. D.: **Skid resistance guide lines for surface improvements on Texas highways.** Highway Research Record, Number 131, 1966.
- 8.15 Bree, J. C. de, Elsenaar, P. M. W.: **Stroefheid van wegverhardingen. Beoordeling van en richtwaarden voor wrijvingscoëfficiënten van wegdekken.** Wegen, augustus 1967.
- 8.16 Kummer, H. W., Meyer, W. F.: **Tentative skid-resistance requirements for main rural highways.** Highway Research Board, National Cooperative Highway Research Program, Report 37, 1967.
- 8.17 **Richtlijnen gebruikstoestand banden.** Wegenverkeerswet, uitvoeringsvoorschriften en andere regelingen. CIII-e-z december 1966.

