

ENIGE ASPECTEN BETREFFENDE ONGEVALLLEN OP NAT WEGDEK

Bijdrage SWOV-congres Toekomst in veiligheid, gehouden op 18 mei 1976 in het Internationaal Congrescentrum RAI te Amsterdam

Ir. L.H.M. Schlösser

Wetenschappelijk medewerker Afdeling Praktijkonderzoek Pre-crash projecten Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

R-76-29

Voorburg, 1976

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Iedere gemotoriseerde weggebruiker wordt geconfronteerd met gevaar voor slippen. Slippen kan worden gedefinieerd als een voertuigbeweging waarbij glijden van één of meer wielen optreedt. Dit kan zich uiten in

- a) grote afwijkingen van de gewenste baan
- b) draaien om de hoogtes van het voertuig
- c) doorglijden met geblokkeerde wielen

De moeilijkheid voor de weggebruiker is dat het risico voor slippen naar tijd en plaats niet hetzelfde is. Anders gezegd het is voor de weggebruiker moeilijk te beoordelen hoeveel de beschikbare wrijving, nodig voor het maken van rem- en stuurmanoeuvres, tijdelijk of plaatselijk kan dalen.

De criteria die de beschikbare wrijving bepalen zijn [1] :

De maximale remkrachtcoëfficiënt μ_{xm} : het quotiënt van de maximale waarde van de remkracht en de momentane verticale bandbelasting.

De remkrachtcoëfficiënt bij geblokkeerd wiel μ_{xb} : het quotiënt van de remkracht bij geblokkeerd wiel en de momentane verticale bandbelasting.

De dwars- of spoorkrachtcoëfficiënt μ_y : het quotiënt van de maximale dwarskracht en de momentane verticale bandbelasting. Door deze drie coëfficiënten is de slipweerstand gedefinieerd.

Elk van deze drie coëfficiënten is onder bepaalde condities van belang. Een hoge μ_{xm} -waarde betekent dat hard remmen mogelijk is zonder dat de wielen van het voertuig gaan blokkeren. Hierdoor kan men een hoge vertraging bereiken met behoud van stabiliteit en bestuurbaarheid. In een noodsituatie zal de bestuurder meestal zo hard mogelijk remmen waardoor de wielen kunnen blokkeren. Voor een zo kort mogelijke remweg onder deze omstandigheden is een hoge μ_{xb} -waarde gunstig. Een hoge μ_y -waarde is wenselijk wanneer de bestuurder van koers wil veranderen, een bocht wil doorlopen of een uitwijkmanoeuvre tracht te maken. De slipweerstand neemt aanzienlijk af als het wegdek nat is. Het wegdek is eigenlijk slechts gedurende een relatief korte tijd nat. Hoewel Nederland bekend staat als een regenachtig land, bedroeg de tijd dat het in de periode van 1941 - 1970 regende gemiddeld 6,2% (fig. 1). Dit komt neer op ongeveer $1\frac{1}{2}$ uur regen per dag. De tijd dat het wegdek nog nat blijft nadat het opgehouden is met regenen is onder meer afhankelijk van de temperatuur, de windsnel-

heid en -richting en de verkeersintensiteit. Geschat kan worden dat het wegdek over de genoemde periode van 30 jaar in totaal niet meer dan 12% van de tijd nat is geweest.

Gedurende de tijd dat het wegdek nat is, is de kans op een ongeval op wegen buiten de bebouwde kom gemiddeld twee keer zo groot als gedurende de overige tijd, dus op een droog wegdek. Vrachtauto's zijn per afgelegde kilometer zowel op droog als op nat wegdek ongeveer 1,5 maal zo veel bij ongevallen betrokken als personenauto's. Deze cijfers blijken uit een studie naar het verband tussen het ongevallenquotiënt op rijkswegen buiten de bebouwde kom en de stroefheid van deze wegen [2]. Het begrip stroefheid verdient hier enige toelichting. De stroefheid is de remkrachtcoëfficiënt (het quotiënt van de remkracht en de wielbelasting) bij 86% wielslip gemeten volgens de standaardmeetmethode van het Rijkswegenbouwlaboratorium. Gebruikt wordt een meetband met nauwkeurig omschreven loopvlakrubbersamenstelling en profiel, onder een constante belasting en bandspanning. De waterlaagdikte is ingesteld op 0,5 mm en wordt verkregen middels een sproeiinstallatie. De snelheid waarbij gemeten wordt bedraagt 50 km/h [3]. Uit de studie bleek dat naarmate de stroefheid van de weg afneemt, de kans op een ongeval toeneemt (fig. 2). Aan deze uitspraak is enig voorbehoud verbonden. Daar de term slipongevallen niet op het ongevallenformulier voorkomt is afgezien van een verband tussen slipongevallen en stroefheid. Er is daarom gezocht naar het ongevallenquotiënt op een bepaald wegvak en de stroefheid van dat wegvak. Deze benaderingswijze impliceert dat er zich alleen een statistisch verband laat vaststellen, waarvan het resultaat in de figuur te zien is. Onder aanname dat er ook duidelijk causale achtergronden voor dit verband aanwezig zijn kan worden aanbevolen als algemene maatregel van verkeersveiligheid te komen tot het vaststellen van een zo hoog mogelijke minimumwaarde voor de stroefheid van wegdekken. Gewaarschuwd moet er voor worden dat de resultaten niet worden gebruikt in het kader van een al te lokaal verkeersveiligheidsbeleid.

Naast de wegdekfactoren zijn ook nog bandfactoren en de gereden snelheid van invloed op de grootte van de slipweerstand. Uit onderzoek naar het contact tussen band en wegdek bleek dat radiaalbanden

van diverse merken onderling slechts geringe verschillen vertoonden in slipweerstand [4]. Het betrof hier vier banden die, geselecteerd middels een multivariate analyse op acht gemeten kenmerken, representatief geacht mogen worden voor de totale groep van normale handelsbanden. De expliciet gemaakte bandkenmerken bandspanning en bandbelasting bleken nauwelijks invloed te hebben op de grootte van slipweerstand.

Het expliciet gemaakte bandkenmerk profieldiepte speelt wel een rol [5]. Bij personenautobanden neemt de slipweerstand van 7 tot 3 mm weinig af bij afnemende profieldiepte (fig. 3). Vanaf ca. 3 mm verloopt deze afname progressief. Dit onder constante condities van waterlaagdikte, wegdek en snelheid. Onder bepaalde condities, met name zeer stroeve wegdekken, is de afname van de slipweerstand vrijwel afwezig en treedt de progressieve afname of niet of pas op bij een lagere waarde dan 3 mm. Voor het vaststellen van een minimumeis aan de profieldiepte moet, uitgaande van de bovenomschreven algemene invloed van de profieldiepte op de slipweerstand, deze eis liefst niet lager dan 1 mm gekozen worden daar het verlies aan slipweerstand juist tussen 1 en 0 mm aanzienlijk is. De vrachtautobanden van diverse merken hebben onderling slechts geringe verschillen in slipweerstand (voor de μ_y -waarde zijn tot nog toe slechts weinig gegevens beschikbaar, zodat hier enig voorbehoud gemaakt moet worden) [6]. Bij vrachtautobanden neemt de slipweerstand vrijwel lineair af bij afnemende profieldiepte. Een progressieve afname vanaf een zekere profieldiepte treedt in het algemeen niet op. Een duidelijke grens waarbeneden de slipweerstand versneld afneemt is niet te trekken. Het is daarom moeilijk een aanbeveling te doen voor een wettelijk verplichte minimumwaarde voor de profieldiepte van vrachtautobanden. Elke hogere waarde is gunstig maar er kan niet veel verhoging in de slipweerstand van worden verwacht.

Belangrijk is nog om te vermelden dat de beschikbare wrijving bij de vrachtautobanden in het algemeen lager is dan die van personenautobanden. Afhankelijk van verschillende factoren zoals type van de band, profieldiepte, snelheid en wegdektype bedragen de verschillen een factor 1 tot 2. Deze verschillen treden ook op op droge wegdekken [7]. Een factor die onder alle omstandigheden van wegdek en band zijn beïnvloed doet gelden is de gereden snelheid. De beschikbare wrijving

neemt ongeveer lineair af bij toenemende snelheid [4]. Op wegdekken met een zeer grote macrotextuur (goede drainage) is de snelheidsinvloed vrijwel afwezig. Dit soort wegdekken komt op het ogenblik vrijwel niet voor zodat dit weinig praktische betekenis heeft.

We hebben hiermee de factoren van belang voor een goed contact tussen band en wegdek gezien. Bij gegeven beschikbare wrijving tussen band en wegdek hangt het optimaal benutten hiervan technisch af van de verdeling van de totale remkracht over de wielen van een voertuig. In de meeste gevallen zal het niet nodig zijn een beroep te doen op de maximaal aanwezige wrijving. Is dit wel zo dan dient de remkrachtverdeling ook zo te zijn dat de maximaal beschikbare wrijving ook werkelijk benut kan worden. Indien de maximale beschikbare wrijving voor het linker- en het rechterwiel van een as verschillend is dan zal het wiel met de laagste beschikbare wrijving bij toenemende wielremdruk het eerst blokkeren als de wielbelasting en de remdruk aan beide wielen gelijk is. Op een nat wegdek is de remkracht bij een geblokkeerd wiel lager dan bij een wiel dat nog juist niet geblokkeerd is. Het geblokkeerde wiel heeft niet meer de maximale remkracht terwijl het andere wiel nog niet aan de maximale remkracht toe is. Het zal duidelijk zijn dat de beschikbare wrijving in dit geval niet optimaal benut wordt. Meestal wordt echter uitgegaan van gelijke wrijving voor alle wielen van het voertuig [8]. De optimale remkrachtverdeling voor een twee-assig voertuig kan dan volgt berekend worden:

Een voertuig heeft een gewicht $m.g.$ (m = massa van het voertuig, g = versnelling van de zwaartekracht), een wielbasis l en een zwaartepunt z_w , waarvan de ligging t.o.v. de wielen en het grondvlak kan worden aangegeven door de coëfficiënten ψ en χ (fig. 4).

In statische toestand is de gewichtsverdeling over de voor- en de achterassen:

$$\text{statische voorasbelasting} : F_{z_{1st}} = (1 - \psi)mg \quad (1)$$

$$\text{statische achterasbelasting} : F_{z_{2st}} = \psi mg \quad (2)$$

Indien er geremd wordt treedt in het algemeen (geen helling) een verandering op in de wielbelasting ter grootte van

$$\Delta F_z = \chi . a . m . g \quad (3)$$

met a = de vertraging gerelateerd aan de versnelling van de zwaartekracht g .

Voor de op het gewicht betrokken dynamische asbelasting is dan te schrijven:

$$\frac{F_{z1}}{mg} = \frac{F_{z1st} + \Delta F_z}{mg} = (1 - \psi + \chi \cdot a) \quad (4)$$

$$\frac{F_{z2}}{mg} = \frac{F_{z2st} - \Delta F_z}{mg} = \psi - \chi \cdot a \quad (5)$$

De gewichtsverdeling is afhankelijk van de plaats van het zwaartepunt en van de vertraging.

$$\text{Verder geldt } F_{z1} + F_{z2} = mg \quad (6)$$

en voor de remkrachten

$$F_{x_{tot}} = F_{x1} + F_{x2} = a \cdot m \cdot g. \quad (7)$$

Indien de maximale remkrachtcoëfficiënten μ_{xm} voor alle wielen gelijk zijn, moet getracht worden de remkrachten aan de assen bij een bepaalde vertraging in overeenstemming te brengen met de dynamische asbelasting. Voor de optimale remkrachtverdeling geldt, daar

$$F_{x_{tot}} = \mu_{xm} \cdot mg \quad (8)$$

met formule (7) dat de relatieve vertraging $a = \mu_{xm}$. Bij de optimale remkrachtverdeling is de maximaal bereikbare vertraging gelijk aan de maximaal beschikbare remkrachtcoëfficiënt.

De optimale remkrachten in dimensieloze vorm worden in een grafiek tegen elkaar uitgezet (fig. 5). De optimale remkrachtverdelingslijn is dus alleen afhankelijk van de plaats van het zwaartepunt. In de praktijk wordt deze curve op verschillende manieren benaderd. Het eenvoudigst is een lineaire remkrachtverdeling waarbij de verhouding tussen de remkrachten aan voor- en achteras steeds gelijk is. Dit wordt o.a. toegepast bij grote zware personenauto's die slechts geringe variaties in zwaartepuntsligging hebben en bij kleinere personenauto's vanwege de eenvoud en geringe kosten.

Bij voertuigen die grote variaties in zwaartepuntsligging hebben, zoals vrachtauto's, zijn in de leiding naar de achterwielen ventielen

gewenst om de remdruk naar de achterwielen te beperken. Dit gebeurt ook bij kleine lichte auto's met een korte wielbasis die een relatief hoge zwaartepuntsligging hebben. Hier spelen dynamische effecten een grote rol.

De in de praktijk toegepaste ventielen zorgen ervoor dat na een bepaalde schakeldruk de lineaire remkrachtverdeling overgaat in een andere lineaire remkrachtverdeling. Deze remdrukbe grenzings- en remdrukverminderingventielen kunnen voor een betere aanpassing nog vertragingsof lastafhankelijk uitgevoerd zijn. In figuur 5 zijn van tien middenklasseauto's van hetzelfde merk en type de in de praktijk optredende remkrachtverdelingen gemeten. Hoewel het steeds hetzelfde type is, naar leeftijd steeds ca. een half jaar verschillend, blijkt uit de metingen dat er grote verschillen kunnen optreden.

Het benaderen van de optimale remkrachtverdelingscurve heeft consequenties voor de remeffectiviteit en de koersstabiliteit. Indien de remkrachtverdeling niet optimaal is, betekent dit dat of de voorwielen of de achterwielen het eerst aan de blokkeergrens geraken. Daar de remkrachtcoëfficiënt van een geblokkeerd wiel op een nat wegdek kleiner is dan van een nog juist niet geblokkeerd wiel is dan de remkracht van de geblokkeerde as lager, terwijl de remkracht van de nog niet geblokkeerde as zijn maximum nog niet heeft bereikt. De remeffectiviteit bij een bepaalde vertraging kan als volgt worden gedefinieerd: het quotiënt van die vertraging en de grootst optredende remkrachtcoëfficiënt.

Afhankelijk van de vertraging wordt de remwaarderung vastgelegd in een remwaarderingsgrafiek. Uit het praktijkonderzoek naar de remkrachtverdeling aan de bovengenoemde voertuigen is ook de remwaarderung bepaald waarvan figuur 6 een voorbeeld geeft. Bij de geteste voertuigen bedroeg de remwaarderung gemiddeld 85-90% in het interval van vertragingen tussen 2 tot 8 m/s².

Een belangrijk aspect van de remkrachtverdeling is de volgorde van blokkeren van de assen. Als bij een twee-assig voertuig het eerst de voorwielen blokkeren blijft de auto in rechte lijn zijn koers vervolgen. Omdat met geblokkeerde wielen geen dwarskrachten kunnen worden opgebouwd kunnen in dit geval geen stuurcorrecties meer worden uitgevoerd. Blokkeren de achterwielen het eerst dan gaat de auto om zijn

hoogteas draaien. Dit is voor de meeste bestuurders niet meer te corrigeren. Het wordt in het algemeen gunstig geacht als eerst de voorwielen aan de blokkeergrens geraken. Bezien wij nu nog eens het voorbeeld van figuur 6 dan blijkt dat dit voertuig bij lage vertraging (in het algemeen dus op een glad wegdek) niet aan deze gunstig geachte situatie beantwoordt. In het gearceerde gebied treedt nl. het eerst blokkeren van de achteras op.

Ten aanzien van gelede voertuigen zijn de problemen van de remkrachtverdeling nog aanzienlijk groter dan bij twee-assige voertuigen. Ook de problemen van de koersstabiliteit zijn groter (scharen). Het zou te ver voeren hierop nu nader in te gaan.

Ten aanzien van de minimaal bereikbare vertraging worden aan voertuigen van verschillende categorieën reeds lang eisen gesteld. Sinds kort zijn er in EEG-verband ook eisen van kracht voor de remkrachtverdeling. Hierbij zijn ook voorschriften betreffende de volgorde van blokkeren van de assen.

Literatuurverwijzingen

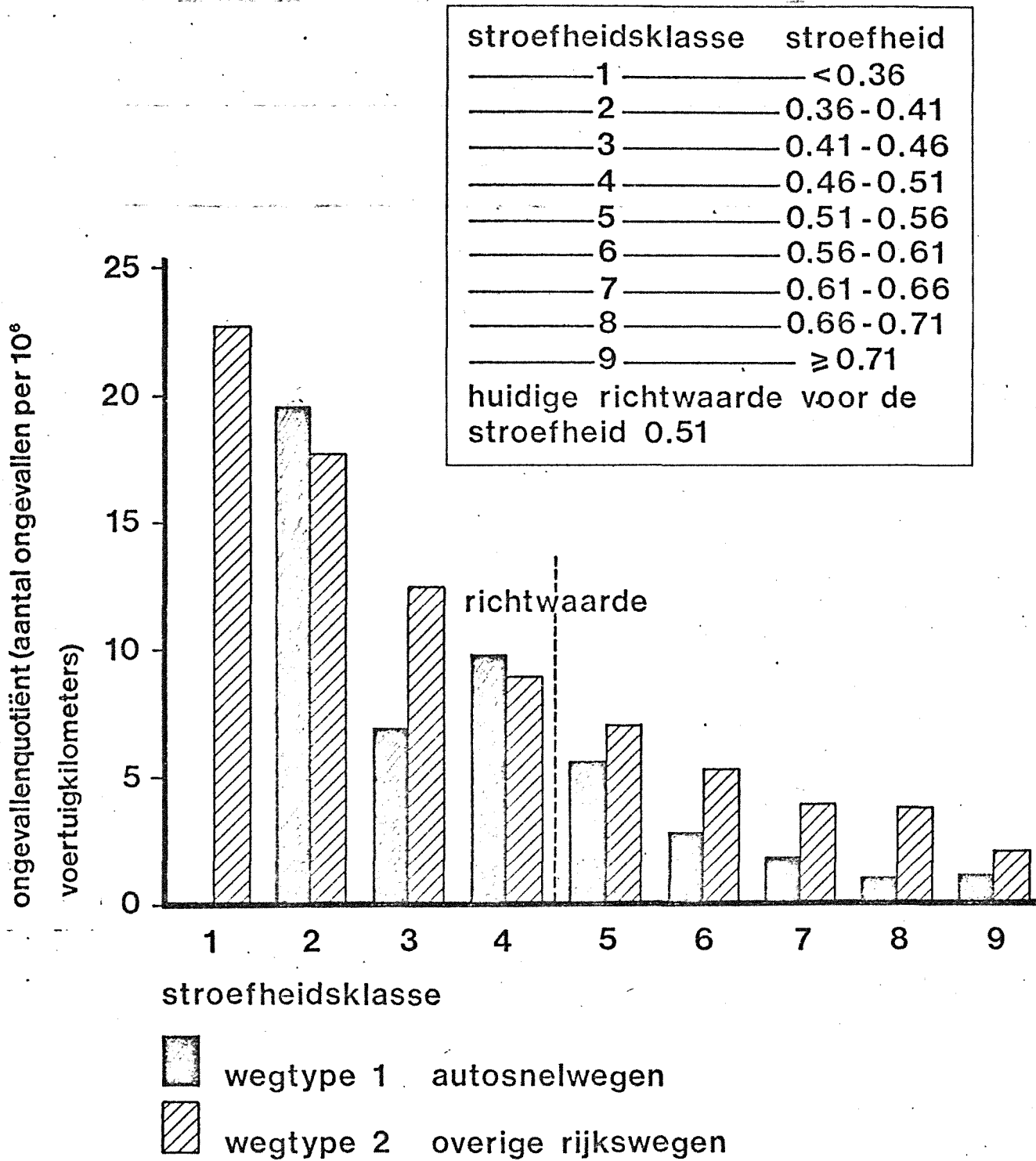
1. Slipongevallen, eerste interimrapport van de Werkgroep "Banden, Wegdekken en Slipongevallen". SWOV, 1969.
2. Verkeersongevallen en wegdekstroefheden. Samenvatting van het researchrapport van Subcommissie V van de Werkgroep "Banden, Wegdekken en Slipongevallen". SWOV, 1975.
3. Elsenaar, P.M.W. Het gedrag van banden op natte wegdekken. Deel III Het meten en beoordelen van de stroefheid van natte wegdekken. De Ingenieur, 5 november 1971, V49 - V58.
4. Dijks, A. A multifactor examination of wet skid resistance of car tires. SAE-paper 741106.
5. Dijks, A. Versuche über die kleinstzulässig Profiltiefe von Personenwagenreifen ATZ (1973) 1.
6. Dijks, A. Invloed van de profieldiepte van bedrijfswagenbanden op de slipweerstand. Rapport no P153. Laboratorium voor Voertuigtechniek van de Technische Hogeschool Delft 1973.
7. Dijks, A. Slipweerstandsmetingen van diverse bedrijfswagenbanden. Rapport no P154. Laboratorium voor Voertuigtechniek van de Technische Hogeschool Delft 1973.
8. Mitschke, M. Dynamik der Kraftfahrzeuge; Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1972.

Lijst van de figuren

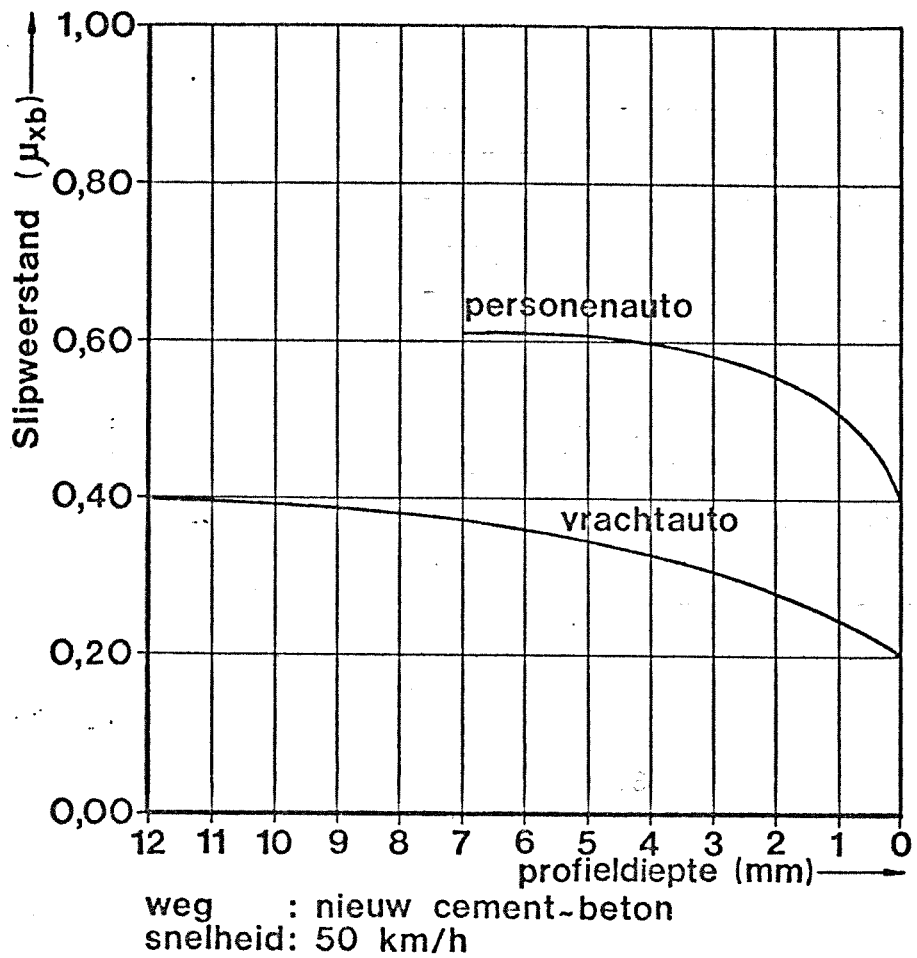
1. Gemiddelde jaarlijkse neerslaguren te de Bilt in percentages van de tijd.
2. Verband tussen stroefheid en ongevallenquotiënt voor rijkswegen.
3. Invloed van de profieldiepte op de slipweerstand.
4. Krachtenspel van het geremde voertuig.
5. Verband tussen de remkrachten aan voor- en achteras voor een twee-assig voertuig.
6. Remwaarderingsgrafiek.

1965	1966	1970	1971	1972	gemiddeld 1941 t/m 1970
8,3	9,1	7,0	5,6	6,3	6,2

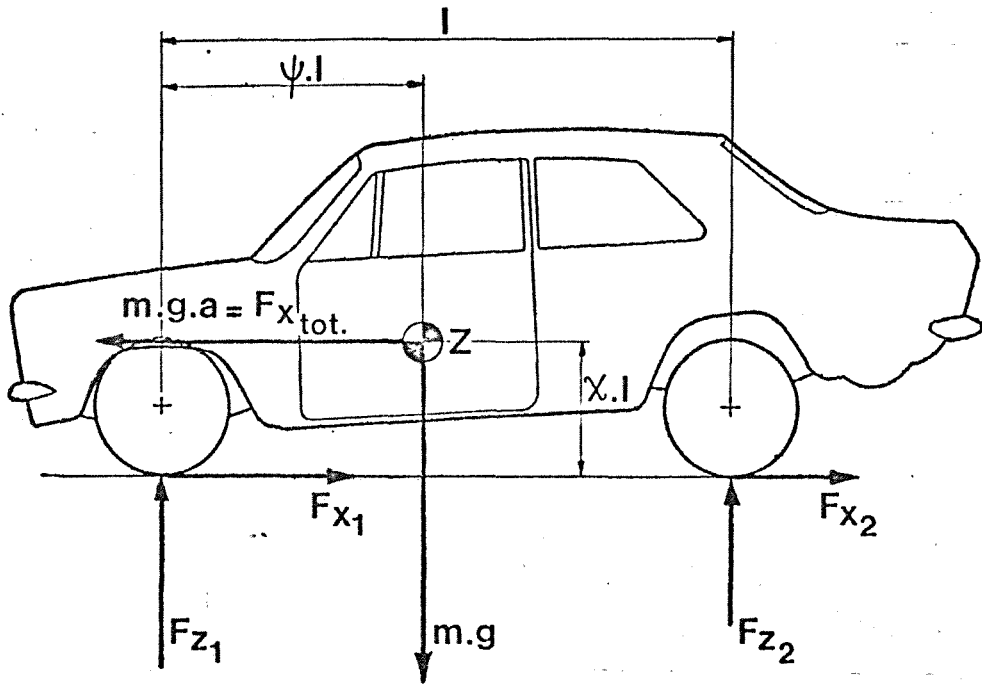
Figuur 1. Gemiddelde jaarlijkse neerslagduren te De Bilt in percentages van de tijd. Bron: KNMI.



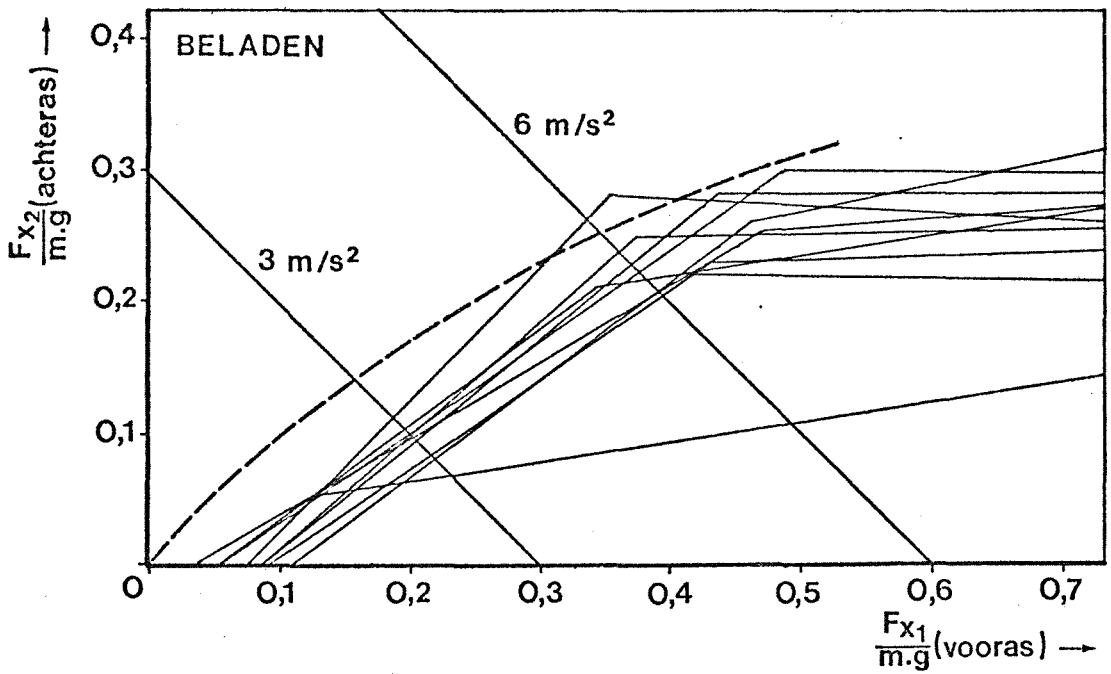
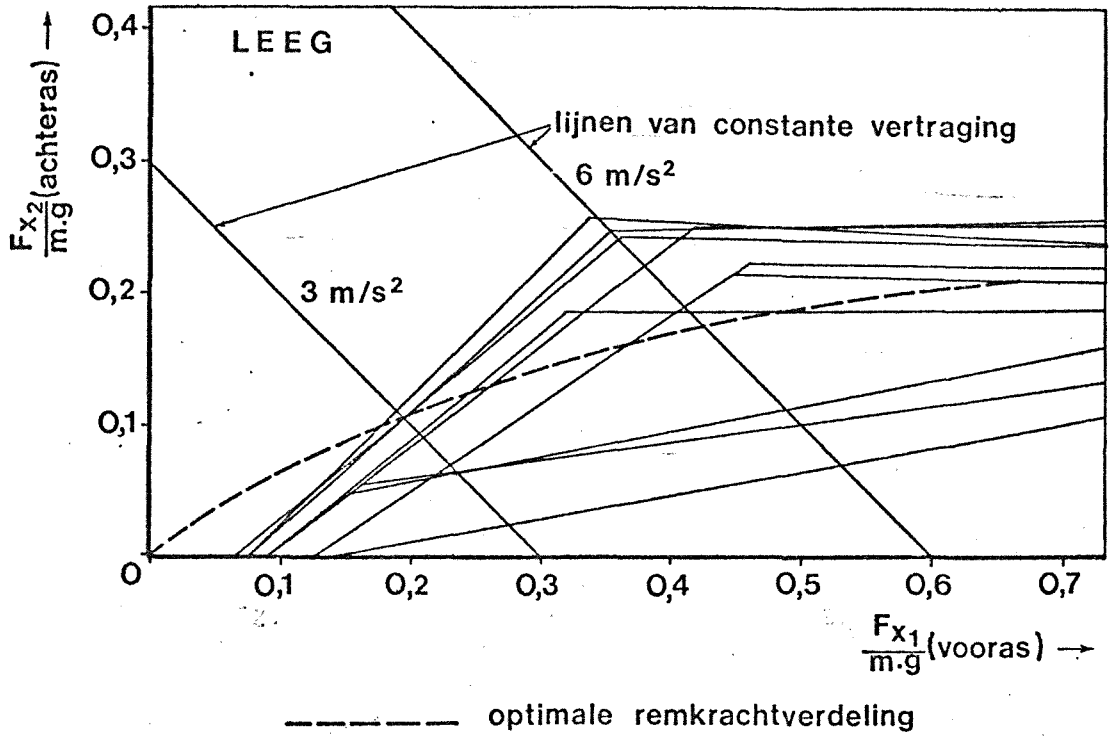
Figuur 2. Verband tussen stroefheid en ongevallenquotiënt voor rijkswegen.



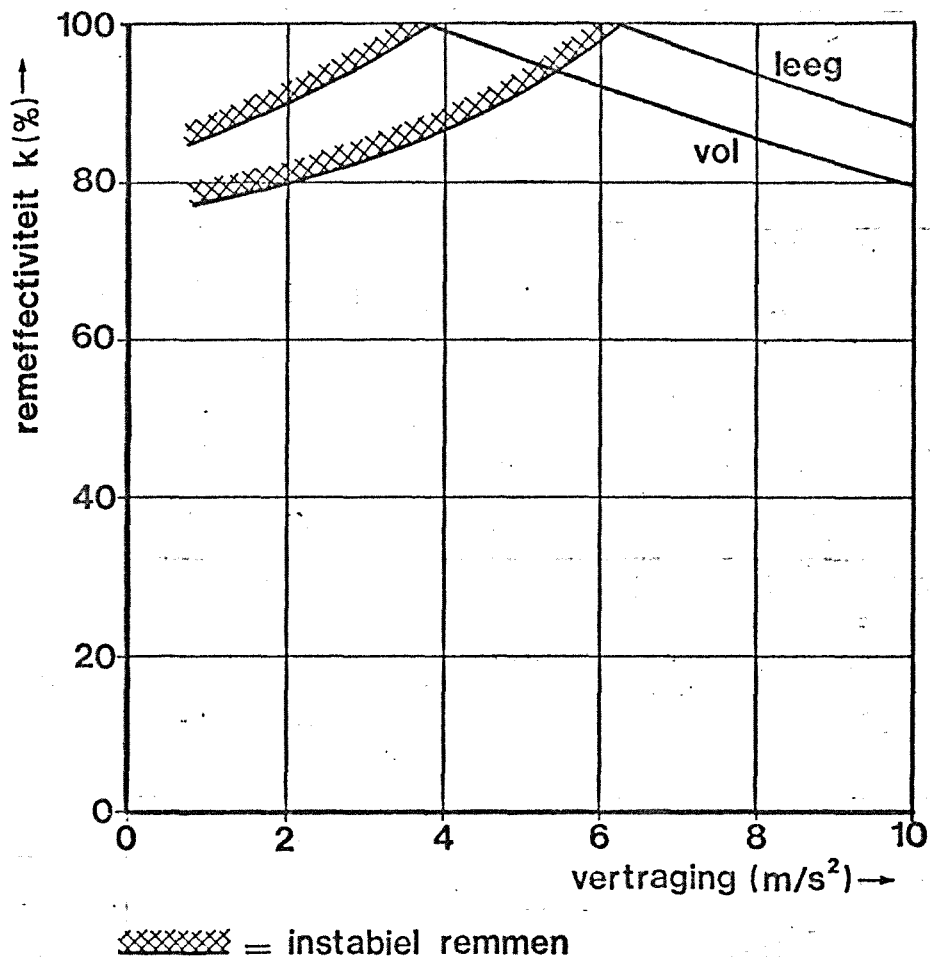
Figuur 3. Invloed van de profieldiepte op de slipweerstand. Bron: Lab. Voertuigtechniek TH-Delft.



Figuur 4. Krachtenspel bij het geremde voertuig.



Figuur 5. Verband tussen de remkrachten aan voor- en achteras voor twee-assig voertuig. Weergegeven is de optimale berekende remkrachtverdeling en de gemeten remkrachtverdeling van 10 personenauto's van hetzelfde merk en type in leeftijd steeds ca. een half jaar verschillend.



Figuur 6. Remwaarderingsgrafiek.

Weergegeven is de gemeten remeffectiviteit van één voertuig in lege en beladen toestand. In het gearceerde gebied blokkeren het eerst de voorwielen bij toenemende remdruk.