

NN31545.1106

IOTA 1106

december 1978

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

DE INVLOED VAN WEG- EN VERKEERSKENMERKEN OP
RIJSNELHEDEN VAN PERSONENAUTO'S

ing. Th.G.C. van der Heijden

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-
middelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een
eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende
discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen
de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onder-
zoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut
in aanmerking



JSN 1707-5-02

I N H O U D

	Blz.
SAMENVATTING	1
1. INLEIDING	3
2. PROBLEEMSTELLING	4
3. METHODE VAN ONDERZOEK	5
3.1. Algemeen	5
3.2. Rijsnelheidsmeting	5
3.3. Invloedsfactoren	5
3.4. Selectie van meetpunten	8
4. RELATIE TUSSEN SNELHEID EN VERKEERSINTENSITEIT	11
5. TREND IN DE SNELHEID	15
5.1. Algemeen	15
5.2. Trend op ongewijzigde meetpunten	16
5.3. Trend op gewijzigde meetpunten	18
5.4. Trend op meetpunten in Zeeland	20
5.5. Conclusies	20
6. NIET-LINEAIRE MODELLEN	22
6.1. Formulering van deelfuncties	22
6.2. Keuze rekentechniek	25
6.3. Berekening modelparameters	26
6.4. Toetsing modeluitkomsten	29
7. VOORTZETTING VAN HET ONDERZOEK	30
8. LITERATUUR	32

SAMENVATTING

Deze nota beschrijft een vervolg op eerder verricht onderzoek naar het verband tussen rijsnelheden van personenauto's en enkele wegkenmerken. Hiervoor zijn in 1977 snelheidswaarnemingen herhaald op 15 meetpunten waar deze metingen ook reeds in 1973 en 1974 werden verricht.

Getracht is uit het verzamelde materiaal via een verband tussen de verkeersintensiteit (vtg/h) of de verkeersdichtheid (vtg/km) en de snelheid, de capaciteit van een weg te schatten. Op de hier onderzochte wegvakken bleek de intensiteit echter dermate laag dat dit verband niet kon worden aangetoond, zodat op deze wijze de capaciteit niet kan worden afgeleid.

De gemiddelde snelheid in 1977, berekend uit 30 verschillende situaties, blijkt niet significant af te wijken van dat gemiddelde in 1973. Alhoewel ten tijde van de oliecrisis een verschuiving van de gehele snelheidsverdeling viel waar te nemen is nu, ruim 3 jaar na de oliecrisis, het peil van 1973 weer bereikt. Evenals in 1973, toen de thans geldende limiet van 80 km/h nog niet van kracht was, rijdt in 1977 ruim een kwart van de personenauto's sneller dan 80 km/h.

Onderzoek naar rangcorrelatie wees op een significant verband van zowel de gemiddelde als de 85%-snelheid met het zicht langs de weg, met de bochtigheid en met de vrijbaanbreedte. Vervolgens werd voor elk van deze factoren een hypothese in de vorm van niet-lineaire functies opgesteld.

Combinatie van deze functies resulteert in multiplicatieve modellen waarmee de gemiddelde of de 85%-snelheid kunnen worden voorspeld. De nauwkeurigheid waarmee met deze niet-lineaire modellen de

variatie in de snelheid kan worden voorspeld is niet groter dan die van eerder afgeleide lineaire regressievergelijkingen. Wel geven ze een theoretisch juistere beschrijving van de wijze waarop een automobilist op veranderingen in diverse variabelen reageert.

Voortzetting van het onderzoek richt zich op de meettechniek van de wegkenmerken, de structuur van de niet-lineaire modellen en het afleiden van de gemiddelde trajectnelheid uit het verloop van wegkenmerken langs een traject.

1. INLEIDING

In Nederland bedraagt de lengte aan verharde kwartaire en niet-planwegen (waaronder de plattelandswegen) buiten de bebouwde kom ca. 83 000 km; de verharde weglengte aan planwegen (primaire, secundaire, tertiaire en overige belangrijke rijkswegen) buiten de bebouwde kom bedraagt ca. 11 000 km (CBS, 1976).

Uit trendtellingen op plattelandswegen over de periode 1972-1975 bleek op verbindingswegen tussen kernen een gemiddelde toename van het verkeer van 9% per jaar, op boerderijwegen van 6% per jaar en op landbouwontsluitingswegen van 1% per jaar (CCC, 1975).

Ter verbetering van de ontsluiting van het platteland werd in de jaren 1955 tot en met 1977 bijna 18 000 km plattelandswegen verbeterd dan wel aangelegd met subsidie van de Landinrichtingsdienst (VAN RIJN, 1977).

In 1977 werd bijvoorbeeld ten behoeve van de ontsluiting van het platteland ruim 500 km weg in uitvoering genomen waarvan ca. 390 km in het kader van ruilverkavelingen. In datzelfde jaar bedroeg het totaal van de investeringen voor verbetering van de ontsluiting in het kader van ruilverkavelingen en waterschaps- en gemeentewerken 121,9 miljoen gulden (CCC, 1977).

Bij de bepaling van het maatschappelijk rendement van een weg en ten behoeve van een juiste dimensionering van een nieuw aan te leggen of te reconstrueren weg alsmede ten behoeve van een modelmatige beschrijving van verkeersstromen in een wegennet speelt de rijsnelheid waarmee een wegvak kan worden afgelegd een belangrijke rol. Om bovenstaande redenen is het dan ook gewenst te onderzoeken welke factoren de rijsnelheid beïnvloeden.

In 1973 is een begin gemaakt met snelheidsmetingen op 23 wegvakken op secundaire, tertiaire en niet-planwegen in de provincie Gelderland (MICHELS en VAN DER HEIJDEN, 1973). In 1974 is de invloed van de oliecrisis nagegaan (MICHELS en VAN DER HEIJDEN, 1975).

Deze nota is een vervolg hierop. Daarbij wordt nader ingegaan op enkele onderdelen, met name de invloed van de verkeersintensiteit op de snelheid, een eventuele trend in de snelheid en het opstellen van een complex model met niet-lineaire functies van enkele wegkenmerken.

2. PROBLEEMSTELLING

Mede op aanwijzingen uit eerdere studies werd met de in 1973 gemeten snelheidsverdelingen de invloed op de rijsnelheid van de volgende wegkenmerken onderzocht: verhardingsbreedte, vrijebaanbreedte, bochtigheid, zicht langs de weg, zicht in de omgeving, vlakheid van de verharding, verkeersintensiteit en -samenstelling (zie 3.3). Per factor werd hierbij een globale hypothese betreffende de invloed op de rijsnelheid geformuleerd. Met behulp van lineaire regressie-analyse kon vervolgens een significant verband worden aangetoond van zowel de gemiddelde als de 85%-snelheid met het zicht langs de weg, met de bochtigheid en met de vrijebaanbreedte. Voor de overige factoren kon de hypothese vooralsnog niet worden bevestigd. Voor een uitgebreider verslag van dit onderzoek zij verwezen naar MICHELS en VAN DER HEIJDEN (1973).

De bovengenoemde resultaten gaven aanleiding tot de volgende drie vragen:

1. kan op de betreffende wegen een zodanig verband tussen de snelheid en de verkeersdichtheid (voertuigen/km) respectievelijk de verkeersintensiteit (voertuig/h) worden geconstateerd dat hieruit een capaciteitsverlagend effect kan worden afgeleid?
2. in hoeverre is op de onderzochte of vergelijkbare wegvakken sprake van een trend in de snelheid?
3. kan een eventueel significant verband van elk der 7 bovengenoemde wegkenmerken met de gemiddelde of de 85%-snelheid wiskundig worden beschreven?

Na een beschrijving van de methode van onderzoek in hoofdstuk 3 wordt in de hoofdstukken 4 tot en met 6 op bovenstaande vragen ingegaan.

3. METHODE VAN ONDERZOEK

3.1. A l g e m e e n

Een uitvoerige beschrijving van het onderzoek zoals dat in 1973 werd opgezet is te vinden in MICHELS en VAN DER HEIJDEN (1973). Niettemin worden hierna enkele belangrijke gegevens betreffende de rij-snelheidsmeting, de keuze van de invloedsfactoren, hun definitie en de selectie van de meetpunten samengevat.

3.2. R i j s n e l h e i d s m e t i n g

Daar het in dit onderzoek de bedoeling is de rij-snelheid op een bepaalde dwarsdoorsnede van een weg te verklaren uit een aantal invloedsfactoren waarvan de meeste wel voor een punt maar niet voor een wegvak zijn te kwantificeren, is een tijd-lengtemeting niet geschikt. Derhalve wordt in dit onderzoek gebruik gemaakt van een radarsnelheidsmeter van het type Mesta 204D, waarmee op bepaalde punten momentane rij-snelheden worden gemeten. Elke rijrichting wordt hierbij als een aparte situatie beschouwd.

Uit literatuur alsmede uit eigen waarnemingen is gebleken dat de rij-snelheden statistisch als normaal verdeeld mogen worden beschouwd. Het is daardoor mogelijk een statistische berekening uit te voeren ter bepaling van de minimale steekproefgrootte. Op grond van deze berekening is, met als criterium maximaal 5% kans op afwijkingen groter dan 2,5 km/h in het gemiddelde, gekozen voor een steekproefgrootte van ca. 125 waargenomen personenauto's per situatie. Op enkele wegen met een dermate lage verkeersintensiteit dat binnen een redelijk tijdsbestek dit aantal waarnemingen niet kon worden verkregen is volstaan met een meetperiode van vier uren.

3.3. I n v l o e d s f a c t o r e n

De rij-snelheid over een bepaald traject is te beschouwen als de resultante van een groot aantal factoren. Een volledig onderzoek betreffende factoren die de rij-snelheid beïnvloeden zou tenminste de volgende onderzoekspunten moeten omvatten:

1. technische weg- en omgevingskenmerken en daaruit af te leiden wegeigenschappen. Hiertoe behoren onder andere verhardingsbreedte, bochtigheid, vlakheid van de verharding, zicht in de omgeving, zicht langs de weg;
2. verkeerskenmerken (intensiteit en samenstelling);
3. persoonskenmerken (leeftijd, geslacht, rijervaring, bekendheid ter plaatse);
4. ritmotieven van de weggebruikers (woon-werkverkeer, recreatieverkeer);
5. voertuigkenmerken (wagengewicht, cilinderinhoud);
6. weersomstandigheden.

De onder 3 tot en met 5 genoemde factoren zijn niet of zeer moeilijk meetbaar zonder beïnvloeding van het snelheidspatroon. Gegevens zoals leeftijd en herkomst van de bestuurder, wagengewicht en ritmotief zijn namelijk alleen te achterhalen middels enquêtes. Bovendien mag voor een deel van deze factoren worden verondersteld dat deze op de te onderzoeken wegvakken veelal op dezelfde wijze zijn verdeeld en daardoor bijvoorbeeld de gemiddelde snelheid op ieder wegvak in gelijke mate beïnvloeden. Uit praktische overwegingen heeft het onderzoek zich daarom beperkt tot die factoren die gekwantificeerd kunnen worden zonder dat het verkeer in zijn snelheidsontwikkeling wordt gehinderd. Het hierna beschreven onderzoek beperkt zich dan ook tot de invloed van technische weg- en omgevingskenmerken en daaruit af te leiden wegeigenschappen alsmede de invloed van verkeerskenmerken.

Mede op aanwijzingen uit eerdere studies is de invloed van de volgende factoren onderzocht: verhardingsbreedte, vrijbaanbreedte, bochtigheid, zicht langs de weg, zicht in de omgeving, vlakheid van de verharding, verkeersintensiteit en -samenstelling.

Een deel van deze factoren wordt bepaald op of vanaf een punt dat 100 m voor het snelheidsmeetpunt is gelegen. Hieraan ligt de veronderstelling ten grondslag dat automobilisten bij de gemiddelde snelheid op een zich wijzigende invloedsfactor reageren door binnen 100 m de rijnsnelheid aan te passen.

Tijdens extreme weersomstandigheden zijn geen metingen verricht. Hierna volgt van iedere factor de definitie alsmede de gehanteerde

veronderstelling omtrent zijn invloed op de snelheid; voor een exacte beschrijving van de meettechniek wordt verwezen naar MICHELS en VAN DER HEIJDEN (1973):

- v e r h a r d i n g s b r e e d t e ; hieronder wordt verstaan de (representatieve) breedte van de verharding in de nabijheid van het snelheidsmeetpunt. Verondersteld wordt dat de verhardingsbreedte geen of weinig invloed op de snelheid heeft;
- v r i j e b a a n b r e e d t e ; dit is de kruinbreedte of, indien zich in of naast de berm obstakels bevinden, de beschikbare breedte tussen deze obstakels. Verondersteld wordt dat de gemiddelde snelheid afneemt met de vrijebaانبreedte;
- b o c h t i g h e i d ; hieronder wordt verstaan de verdraaiing van de weg over een traject van 100 m vóór het punt waar de snelheid wordt waargenomen. De hypothese is dat de snelheid op het meetpunt afneemt bij toenemende bochtigheid over het voorafgaande traject;
- Z i c h t l a n g s d e w e g a s ; hiermee wordt bedoeld de lengte in de rijrichting waarover een bestuurder vanuit zijn auto de as van de wegverharding kan zien. Verondersteld wordt dat de lengte van het zicht, beneden een bepaalde waarde, belemmerend werkt op de rijsnelheid;
- z i c h t i n d e o m g e v i n g ; naast het hierboven reeds behandelde zicht langs de as van de weg is eveneens onderzoek verricht naar de invloed van het doorzicht in de naaste omgeving aan weerszijden van de weg. Verondersteld wordt dat de rijsnelheid van een automobilist afneemt naarmate dit doorzicht geringer is, aangezien onoverzichtelijkheid leidt tot vrees voor plotselinge confrontatie met verkeer uit niet-zichtbare zijwegen of uitritten;
- v l a k h e i d v e r h a r d i n g ; deze is te definiëren als een maat voor de grootte en de aard van de afwijkingen van het wegdek ten opzichte van een plat vlak. Aangenomen wordt dat de snelheid afneemt naarmate de verharding minder vlak is;
- i n t e n s i t e i t e n s a m e n s t e l l i n g v a n h e t v e r k e e r ; verondersteld wordt dat de rijsnelheid zal dalen indien de verkeersintensiteit, boven een bepaalde waarde gekomen, blijft stijgen. Evenzo wordt aangenomen dat de rijsnelheid zal afnemen indien het verkeer een meer heterogeen karakter vertoont.

3.4. S e l e c t i e v a n m e e t p u n t e n

Bij de keuze van de meetpunten is naar maximale variatie in elk der zeven invloedsfactoren gestreefd, zonder dat daarbij buiten het meettraject vallende discontinuïteiten zich voordoen. Beide rijrichtingen worden daarbij elk als een afzonderlijke situatie beschouwd.

In 1973 werd op 23 verschillende meetpunten de snelheid gemeten; op enkele punten werden de waarnemingen meermalen verricht zodat in totaal over 56 situaties kan worden beschikt. De keuze van de punten in 1974 was, in verband met het voornemen de snelheidsverdelingen voor en na instelling van de snelheidsbeperking tot 80 km/h te vergelijken, beperkt tot de 23 punten waar ook reeds in 1973 was gemeten. Daarbij bleek dat op drie punten de wegconstructie zodanig was gewijzigd dat deze punten zich niet meer voor het onderhavige onderzoek leenden. Op vier punten kon niet worden voldaan aan de eis de metingen zoveel mogelijk te verrichten onder dezelfde omstandigheden wat betreft seizoen en landschapsbeeld als in 1973. Uiteindelijk resteren in 1974 dus 32 situaties waar de snelheidsverdelingen opnieuw werden gemeten (MICHELS en VAN DER HEIJDEN, 1975).

In 1977 zijn, in verband met de beschikbare tijd, alleen waarnemingen verricht op die punten waar ook reeds in 1974 de metingen werden herhaald. Daarbij bleek opnieuw dat op 5 punten een wijziging was opgetreden in dwarsprofiel of verkeersintensiteit en/of -samenstelling; niettemin is ook op deze punten de meting herhaald.

Wel dient hier te worden benadrukt dat in 1977 selectie van de meetpunten was gericht op het onderzoek naar een eventuele trend in de snelheid (vraag 2 van de Probleemstelling) en niet zozeer op het bestuderen van de vragen 1 en 3 van de Probleemstelling.

In tabel 1 zijn de wegvakken waarop de meetpunten liggen met behulp van enkele karakteristieken beschreven. In de tweede kolom van deze tabel duiden de letters S, T en K erop dat een wegvak tot het secundaire, tertiaire of kwartaire wegenplan behoort. De jaaretmaal-gemiddelde intensiteit op werkdagen (JEG_w) in kolom vier is die in motorvoertuigen van beide rijrichtingen samen. Voor het merendeel der punten is deze ontleend aan tellingen verricht door de PROVINCIALE WATERSTAAT VAN GELDERLAND (1975). Voor de overige punten is een eigen schatting vermeld (aangeduid met ca.).

Op de punten 02 en 07 is tussen 1974 en 1977 het eenzijdig vrijliggend fietspad verbreed. Op de meetpunten 12 en 15 is de klinkerbestrating vervangen door een bitumineuze verhardingsconstructie terwijl voorts het tweezijdig vrijliggend fietspad is verdwenen. In de nabijheid van meetpunt 19 is een nieuwe verbindingsweg geopend waardoor de gemiddelde kwartierintensiteit op dit punt terugliep van 24 PAE naar 9 PAE. Meetpunt 27 tenslotte was ten tijde van het veldwerk in één richting afgesloten zodat daar van waarneming moest worden afgezien. In 1977 werden zodoende op 20 ongewijzigde en 10 gewijzigde situaties de metingen herhaald.

Tabel 1. Wegkenmerken van bij het onderzoek betrokken meetpunten naar de toestand in 1973

Meet- punt	Wegaan- duiding	Van/naar	JEG werkdag 1975	Ver- hardings- breedte m	Vrij- liggende fiets- paden	Bomen	Afstand bomen tot kant verharding m	Bijzonderheden
01	T 58	Hummelo/Zelhem	2100	6,00	geen	tweezijdig	2,00	bocht
02	T 65	Hummelo/Toldijk	4700	6,50	eenzijdig	tweezijdig	3,25	
03	T 58	Hummelo/Zelhem	3000	5,50	geen	eenzijdig	2,50	
06	T 58	Hummelo/Zelhem	3000	5,40	geen	tweezijdig	1,50	
07	T 65	Hummelo/Toldijk	4700	6,60	eenzijdig	geen	-	flauwe bocht
10	K 97	Zetten/Elst	ca. 800	4,25	geen	eenzijdig	3,00	
11	K 97	Zetten/Elst	ca. 800	4,20	geen	eenzijdig	2,00	
12	S 1	Zetten/Wageningen	1600	5,40	tweezijdig	geen	-	
13	K 67	Hummelo/Hoog Keppel	ca. 500	4,20	geen	eenzijdig	2,80	
14	K 98	Elst/Driel	ca. 500	4,20	geen	eenzijdig	2,00	
15	S 1	Zetten/Wageningen	1600	5,80	tweezijdig	tweezijdig	4,00	bocht
16	T 58	Hummelo/Zelhem	3000	5,50	geen	tweezijdig	1,20	
17	T 58	Hummelo/Zelhem	2100	5,30	geen	tweezijdig	2,00	flauwe bocht
18	Haarweg	Wageningen/Rhenen	ca. 800	4,40	geen	eenzijdig	1,30	
19	T 59	Keijenborg/Hengelo	3000	5,40	geen	tweezijdig	0,80	
20	T 59	Zelhem/Hengelo	ca. 1500	5,10	geen	geen	-	flauwe bocht
21	T 58	Zelhem/Halle	2400	5,30	geen	geen	-	
22	S 57	Zelhem/Ruurlo	3300	6,40	eenzijdig	eenzijdig	1,00	flauwe bocht
23	S 57	Doetinchem/Zelhem	5000	6,40	eenzijdig	eenzijdig	1,50	
24	S101	Kesteren/Maurik	2500	7,80	tweezijdig	geen	-	
26	K 78	Hummelo/Zelhem	ca. 500	4,30	geen	eenzijdig	2,00	bocht
27	T 58	Hummelo/Zelhem	3000	5,50	geen	eenzijdig	2,30	bocht
28	K157	Hummelo/Doetinchem	4400	5,80	geen	geen	-	bocht

4. RELATIE TUSSEN SNELHEID EN VERKEERSINTENSITEIT

Reeds eerder werd verondersteld dat de snelheid zal dalen indien de verkeersintensiteit boven een bepaalde waarde gekomen, blijft stijgen. Het niveau van deze waarde hangt af van de vormgeving van de weg en is derhalve voor alle wegen en wegvakken verschillend. Het theoretisch verband tussen snelheid, dichtheid en intensiteit is al vele malen onderwerp van studie geweest (HIGHWAY RESEARCH BOARD, 1965; WAHLGREN, 1967; HEERE en AKKERMAN, 1973; FARTHING, 1977). Tijdens de snelheidsmetingen werd de indruk verkregen dat dit verband op de hier onderzochte wegvakken geen rol speelt. Niettemin wordt hierna een poging ondernomen om deze, uit een oogpunt van wegontwerp belangrijke relatie nader te analyseren. Daartoe is uit de bovenstaande literatuur de volgende theoretische benadering gekozen (HEERE en AKKERMAN, 1973).

Verondersteld zij op een bepaald wegvak een zich met een eenparige snelheid v (km/h) voortbewegende stroom voertuigen met een onderlinge afstand d (m/vtg), bijvoorbeeld gemeten tussen de voorbumpers van opeenvolgende voertuigen. Het maximum niveau van v op dat wegvak wordt daarbij gefixeerd door de invloed van de in par. 3.3 genoemde relevante wegkenmerken. Het lijkt aannemelijk te veronderstellen dat de snelheid (v) zal dalen indien de onderlinge afstand (d) beneden een bepaalde waarde gekomen, blijft afnemen, zie fig. 1. De snelheid zal nul worden bij een bepaalde, kleine waarde van d (minimaal de gemiddelde voertuiglengte). Hierbij speelt de wederzijdse aanpassing van remweg en snelheid door de bestuurders een rol; bij geringere afstand d verlaagt men de snelheid in verband met de kortere beschikbare remweg, anderzijds wordt bij lagere snelheid een kortere remweg en dus geringere afstand d geaccepteerd. Hier wordt aangenomen dat alle bestuurders ten aanzien van remwegschatting en risico-nemen hetzelfde gedrag vertonen, zoals beschreven in fig. 1. Nu geldt, dat de dichtheid van voertuigen D (vtg/km) het omgekeerde is van de onderlinge afstand: $D = \frac{1}{d}$. Op het traject waar $v = f(d)$ horizontaal verloopt, (fig. 1), is dit dus eveneens het geval met $v = f(D)$, zoals weergegeven in fig. 2. Dit horizontale deel ($d > ca. 30$ m/vtg in fig. 1) zal in de v/D -curve slechts betrekkelijk kort

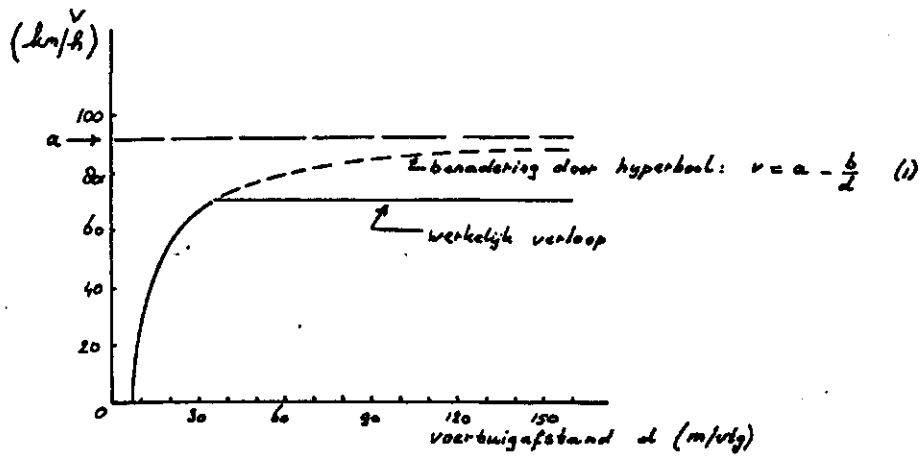


Fig. 1. Voorbeeld van het verband tussen de snelheid v (km/h) en de onderlinge afstand tussen voertuigen d (m/vtg)

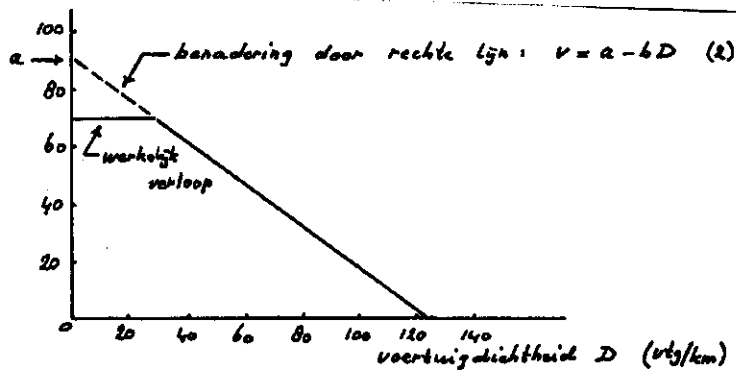


Fig. 2. Voorbeeld van het verband tussen de snelheid v (km/h) en de voertuigdichtheid D (vtg/km), volgend uit fig. 1

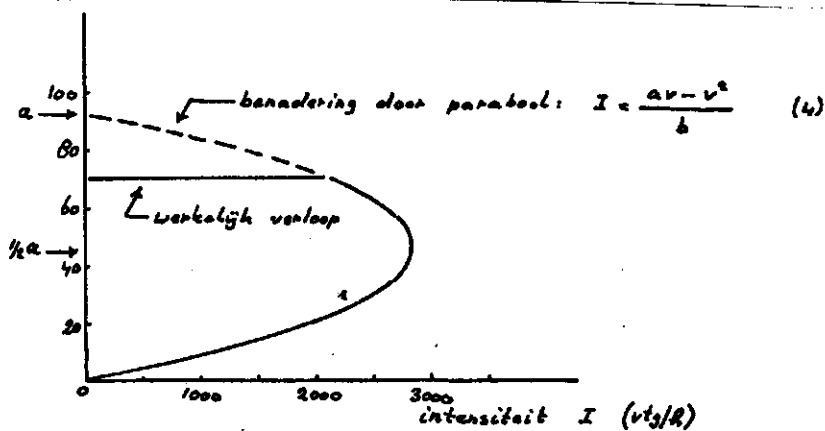


Fig. 3. Voorbeeld van het verband tussen de snelheid v (km/h) en de verkeersintensiteit I (vtg/h), volgend uit fig. 2

zijn ($D < \text{ca. } 30 \text{ vtg/km}$, zie fig. 2). Om die reden lijkt het plausibel voor het v/d verband een hyperbolisch verloop aan te nemen:

$$v = a - \frac{b}{D} \quad (1)$$

Dit leidt tot een lineair verband tussen v en D :

$$v = a - bD \quad \text{of} \quad D = \frac{a - v}{b} \quad (2)$$

waarin:

v = snelheid (km/h)

D = dichtheid (vtg/km)

a, b = constanten

Hierin is a de theoretische waarde, die de snelheid aanneemt onder invloed van de overige wegkenmerken, zonder dat de dichtheid een rol speelt (de horizontale asymptoot van de hyperbool in fig. 1, en dus het intercept van de rechte lijn in fig. 2). De coëfficiënt b is een maat voor de kromming van de v/d hyperbool in fig. 1 en dus voor de helling van de v/D -lijn in fig. 2.

Voorts geldt voor de intensiteit I (vtg/h), dat:

$$I = v \cdot D \quad (3)$$

Uit substitutie van (2) in (3) volgt:

$$I = \frac{v(a - v)}{b} = \frac{av - v^2}{b} \quad (4)$$

Hierin is $I = 0$ indien $v = 0$ en $v = a$, I is maximaal indien $\frac{dI}{dv} = 0$ ofwel $v = \frac{a}{2}$.

Hieruit kan worden geconcludeerd dat $v = f(I)$ een liggende parabool is (fig. 3) met als snijpunten op de y -as, $v = 0$ en $v = a$ terwijl de maximale intensiteit I_{\max} (dus: de capaciteit van het wegvak) wordt gevonden bij $v = \frac{a}{2}$ waarbij:

$$I_{\max} = \frac{a^2}{4b} \quad (5)$$

De bovenste tak van deze parabool (4) moet nu theoretisch ontstaan door per situatie in één diagram de snelheid (v) uit te zetten tegen de intensiteit (I); evenzo moet het lineaire verband (2) ontstaan door v uit te zetten tegen D .

Uit (4) kan worden afgeleid:

$$v_{1,2} = \frac{a}{2} \pm \frac{a}{2} \sqrt{1 - \frac{4b}{a^2} I} \quad (6)$$

Uit substitutie van (5) in (6) volgt:

$$v_{1,2} = \frac{a}{2} \pm \frac{a}{2} \sqrt{1 - \frac{I}{I_{\max}}} \quad (7)$$

Indien wordt aangenomen dat de waarde die a aanneemt voor alle wegvakken dezelfde is zou verband (7) moeten ontstaan door in één diagram de waarden v en $\frac{I}{I_{\max}}$ van alle wegvakken tegen elkaar uit te zetten.

Om de bovenstaande theorie te toetsen is gebruik gemaakt van de in 1973 verzamelde waarnemingen. Daartoe werd per situatie de per kwartier berekende gemiddelde snelheid uitgezet tegen de in datzelfde kwartier gemeten dichtheid, berekend volgens (3). Zowel uit deze grafische beelden als uit berekeningen bleek daarbij dat geen lineaire afname van v als functie van D kon worden aangetoond. Kennelijk is de intensiteit op de onderzochte wegvakken dermate gering dat deze niet van invloed is op het snelheidspatroon; de waarnemingen betreffen dan alleen het horizontale deel van de kromme (zie fig. 2) waar geen afname van $v = f(D)$ werd verondersteld. Het blijkt dus niet mogelijk op deze wijze de capaciteit (I_{\max}) van een weg af te leiden omdat de reductie op de snelheid door de intensiteit niet kan worden berekend. WAHLGREN (1967) vond op vergelijkbare en dikkere wegvakken eveneens dat bij lage waarden van de verhouding $\frac{I}{I_{\max}}$ geen invloed van de intensiteit op de snelheid kan worden aangetoond.

Mogelijk zal waarneming in kleinere tijdseenheden (b.v. 1 minuut) een dergelijke relatie wel kunnen aantonen maar dit is uit een oogpunt van wegontwerp geen relevant gegeven.

5. TREND IN DE SNELHEID

5.1. A l g e m e e n

Uit studies in diverse landen (WAHLGREN, 1967; RRL, 1971; OECD, 1972) blijkt dat de gemiddelde snelheid van alle voertuigcategorieën de tendens vertoont jaarlijks toe te nemen.

Tabel 2 geeft een bescheiden opwaartse trend te zien in de gemiddelde snelheid van personenauto's, gemeten op enkelbaanswegen in diverse landen.

Tabel 2. De trend in de gemiddelde snelheid van personenauto's op enkelbaanswegen in diverse landen

Land	Aantal meetpunten	Periode	Jaarlijkse toename (km/h)
Australië	31	1963 -1967	0,56
Finland		1961/'62-1965	4,50
België, Frankrijk		1955 -1962/'63	1,30
Nederland, Italië			
Schotland		1957 -1964	1,21
Zweden	2	1956 -1961	1,00
Groot-Brittanië	4	1957 -1964	1,38
Verenigde Staten	845	1959 -1969	1,37

Bron: OECD, 1972

Aangenomen mag worden dat deze toename een gevolg is van voortschrijdende verbeteringen van het voertuigenpark met daardoor een gewijzigde rijstijl en van verbeteringen aan het wegennet. Wellicht mag worden verondersteld dat, gezien de thans bereikte kwaliteit van het voertuigenpark en het in ons land aanwezige wegennet, een eventuele jaarlijkse toename van de snelheid geringer zal zijn dan in het verleden het geval is geweest.

Indien op de in dit onderzoek betrokken of vergelijkbare wegvak-

ken sprake is van een trend in de snelheid kan de consistentie van de in hoofdstuk 7 af te leiden modellen hierdoor zowel naar ruimte als naar tijd worden beïnvloed. Beïnvloeding naar ruimte kan optreden indien ten aanzien van de trend tussen de onderzochte wegvakken verschillen zouden kunnen worden aangetoond.

Voorts lijkt het gewenst, zowel bij de discussie omtrent de behoefte aan een algemene snelheidsbeperking als bij de keuze van de ontwerpsnelheid voor nieuw aan te leggen of te reconstrueren wegen, rekening te houden met een eventuele jaarlijkse toename van de snelheid.

Voor zover bekend vinden binnen Nederland nauwelijks snelheidsmetingen plaats met als doel het bepalen van de trend. De Provinciale Waterstaat in Zeeland beschikt over een aantal permanente punten waar regelmatig snelheidswaarnemingen worden verricht; door deze dienst werd voor dit onderzoek materiaal ter beschikking gesteld (VAN DER VEEN, 1977).

De eigen waarnemingen op Gelderse wegen in 1973, 1974 en 1977 lenen zich eveneens voor een globale beoordeling van de trend.

Op alle bij het onderzoek betrokken wegvakken geldt sinds februari 1974 een snelheidslimiet van 80 km/h.

De keuze van de meetpunten in 1977 beperkte zich uiteraard tot de punten waarop in 1973 en 1974 reeds was gemeten.

Voor de hierna volgende analyse wordt onderscheid gemaakt tussen meetpunten waar gedurende de periode 1973-1977 geen wijzigingen in dwarsprofiel of verkeersintensiteit en/of samenstelling zijn opgetreden (zie 5.2) en punten waarbij wel veranderingen werden geconstateerd (zie 5.3).

5.2. T r e n d o p o n g e w i j z i g d e m e e t p u n t e n

Op deze wegvakken blijkt de gemiddelde snelheid in 1977 (tabel 3, kolom 7) in 5 situaties significant lager en in 3 situaties significant hoger te zijn dan in 1973 (kolom 5). Deze snelheidsverschillen zijn getoetst met de t-toets met een 95% betrouwbaarheidsinterval (grenswaarde ≈ 2 bij 60 of meer vrijheidsgraden); t-waarden zie kolom 11.

Tabel 3. Waarnemingsuitkomsten per situatie van drie jaren op ongewijzigde meetpunten

Situatie	Steekproef- grootte			Gemiddelde snelheid v			Spreiding s			t-waarde $\frac{\bar{v}_{77} - \bar{v}_{73}}{\sqrt{77}}$	85%-snelheid v ₈₅			% > 80 km/h		
	1973	1974	1977	1973	1974	1977	1973	1974	1977		1973	1974	1977	1973	1974	1977
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
01-1	325	130	191	49,5	47,1	48,6	8,0	6,0	6,5	-1,39	58	54	55	0	0	0
2	453	161	179	48,8	46,4	44,5	6,9	5,1	6,0	-7,77	55	52	50	0	0	0
03-1	258	125	133	71,4	64,6	71,0	12,5	9,6	11,2	-0,32	84	75	82	26	5	21
2	281	195	248	73,2	66,6	72,8	12,9	9,5	12,0	-0,37	88	77	84	28	10	24
06-1	137	179	223	60,8	57,8	58,9	7,9	7,4	9,2	-2,08	69	65	69	0	0	1
2	151	142	146	71,1	60,5	63,8	12,1	11,5	11,0	-5,41	84	73	75	23	4	8
16-1	130	124	133	70,8	68,1	69,3	12,3	9,1	11,0	-1,04	84	78	82	25	12	18
2	186	155	159	68,1	68,8	65,8	10,6	8,6	9,3	-2,15	79	78	75	12	9	6
13-1	41	86	126	67,6	70,1	66,1	12,3	15,0	11,7	-0,69	82	85	79	19	24	13
2	100	102	152	61,7	62,7	63,8	13,4	14,4	13,7	1,21	77	78	80	10	9	15
18-1	40	124	126	75,1	71,6	68,8	15,5	15,3	11,3	-2,38	89	87	83	28	32	21
2	56	116	158	71,1	71,1	74,0	12,5	12,4	12,8	1,48	86	82	87	20	19	35
22-1	144	136	150	72,6	69,7	71,1	10,9	12,4	11,5	-1,15	84	83	83	27	20	25
2	167	133	145	72,2	73,6	75,5	11,1	12,1	11,2	2,61	84	87	88	26	30	34
23-1	331	179	188	72,1	69,8	79,7	11,3	11,0	13,9	6,39	83	81	95	21	16	52
2	326	154	163	72,1	69,6	83,2	12,2	10,5	14,1	8,57	84	81	99	24	15	55
24-1	118	122	145	86,0	82,1	86,8	17,8	14,4	14,9	0,39	104	94	102	63	60	68
2	136	130	132	89,9	87,9	87,9	16,9	13,5	13,5	-1,07	108	101	102	69	73	74
28-1	109	127	224	63,8	62,5	65,4	9,2	10,5	10,3	1,43	73	72	77	6	6	8
2	157	143	132	67,2	60,2	66,4	11,7	10,4	10,1	-0,62	84	71	76	21	3	8
Totaal	3646	2763	3253	66,9	66,1	68,6	11,5	11,0	11,4	6,01	78,5	77,0	80,4	19,6	16,3	23,2

Niettemin blijkt dit gemiddelde van alle 20 situaties samen ten opzichte van 1973 gemiddeld met 1,7 km/h te zijn toegenomen; dit komt overeen met een gemiddelde jaarlijkse toename in het gemiddelde van ca. 0,4 km/h. Dit ondanks de eind 1973 opgetreden oliecrisis en de begin 1974 ingestelde snelheidslimiet; rond die tijd werd een daling van het gemiddelde op deze punten geconstateerd (kolom 6). Daar het hier de ongewijzigde wegvakken betreft zou deze toename een gevolg kunnen zijn van technische verbeteringen aan het voertuigenpark en een daaruit voortvloeiende gewijzigde rijstijl.

De spreiding rond het gemiddelde (tabel 3, kolommen 8 en 10) heeft in 1977, na de lichte daling in 1974, het niveau van 1973 weer ongeveer bereikt.

Opmerkelijk is dat ondanks de van kracht zijnde snelheidslimiet op deze wegvakken in 1977 gemiddeld toch bijna een kwart van de automobilisten sneller rijdt dan 80 km/h; dit percentage ligt daarmee boven dat van 1973 en 1974 (tabel 3, kolommen 15 en 17).

5.3. T r e n d o p g e w i j z i g d e m e e t p u n t e n

De resterende 10 situaties waar wel veranderingen zijn opgetreden (tabel 4) geven in 1977 bij 2 situaties een significante afname en bij 4 situaties een significante toename van de gemiddelde snelheid ten opzichte van 1973 te zien; ook hier lag dit gemiddelde in 1974 op een lager niveau (kolommen 5, 6 en 7).

Opvallend is de sterke toename in de gemiddelde snelheid op de punten 12 en 15 (Wageningen-Zetten) waar het verbrede dwarsprofiel en de verbeterde verhardingsconstructie (zie 3.4) dit gemiddelde met 7 à 10 km/h deed toenemen.

Op alle 10 situaties gezamenlijk is de gemiddelde snelheid ten opzichte van 1973 toegenomen met 0,4 km/h.

De spreiding op deze wegvakken (kolommen 8,9 en 10) nam ten opzichte van 1973 iets af, echter, evenals bij de ongewijzigde punten, toe ten opzichte van 1974.

De snelheid die door 85% van de automobilisten niet wordt overschreden heeft wederom ongeveer het peil van 1973 bereikt.

Gemiddeld wordt op deze wegvakken het toegestane snelheidsmaximum door eenderde van de personenauto's overschreden.

Tabel 4. Waarnemingsuitkomsten per situatie van drie jaren op gewijzigde meetpunten

Situatie	Steekproef- grootte			Gemiddelde snelheid v			Spreiding s			$\frac{t\text{-waarde}}{v_{77} - v_{73}}$	85%-snelheid v ₈₅			% > 80 km/h		
	1973	1974	1977	1973	1974	1977	1973	1974	1977		1973	1974	1977	1973	1974	1977
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
02-1	330	236	168	87,3	78,5	88,8	17,4	11,3	15,4	0,98	104	91	103	64	44	74
2	345	156	164	86,5	75,6	87,0	15,8	11,1	14,4	0,35	103	87	102	65	36	65
07-1	585	201	187	74,6	69,0	71,6	14,8	10,8	13,0	-2,65	90	81	83	35	16	20
2	602	185	176	77,3	70,0	76,1	17,4	11,8	15,5	-0,88	95	82	93	41	20	39
12-1	133	137	143	73,4	72,5	83,1	14,1	12,8	17,8	5,03	86	85	102	32	28	55
2	144	199	142	72,4	71,4	83,1	15,7	12,8	14,9	5,91	89	84	98	30	24	53
15-1	200	134	195	57,2	55,1	64,5	10,8	9,9	11,6	6,46	69	64	75	2	1	7
2	265	141	188	54,0	52,4	62,0	10,1	12,0	13,3	6,96	65	65	74	1	2	10
19-1	145	152	130	68,0	64,0	65,1	14,2	13,7	11,8	-1,85	82	77	77	17	11	10
2	179	124	134	70,8	69,1	67,2	13,5	13,2	11,3	-2,57	84	82	79	22	18	13
Totaal	2928	1665	1627	74,2	68,7	74,6	15,1	11,9	14,0	0,90	89,5	80,8	88,2	35,6	21,5	34,0

5.4. T r e n d o p m e e t p u n t e n i n Z e e l a n d

Door de Provinciale Waterstaat in Zeeland zijn meetgegevens ter beschikking gesteld betreffende snelheidswaarnemingen op (niet-) autowegen. De resultaten van metingen op een drietal vaste meetpunten gedurende enkele jaren op niet-autowegen tonen aan dat ook hier ten tijde van de oliecrisis een daling van de gemiddelde snelheid valt waar te nemen, zie fig. 4. Nadien neemt, evenals op de Gelderse wegen dit gemiddelde weer toe. Wel valt daarbij op dat gedurende de zomermaanden nogal wat fluctuaties optreden, met name op de provinciale weg nr 18 (Serooskerken-Zierikzee); verondersteld wordt dat dit een gevolg is van de hogere intensiteit veroorzaakt door veel recreatieverkeer.

De overige meetpunten, waar in de regel slechts eenmalig is gemeten, zijn ingedeeld in een drietal groepen op grond van hun verschillen in zichtlengte, vrijbaanbreedte en verhardingsbreedte. Het blijkt dan dat de toename in de gemiddelde snelheid sterker is naarmate de drie genoemde wegkenmerken minder beperkend zijn (VAN DER VEEN, 1977). Ditzelfde doet zich voor bij vergelijkbare Gelderse wegen (MICHELS en VAN DER HELJDEN, 1975).

Daar de metingen veelal per situatie onder wisselende omstandigheden (in verschillende jaargetijden) zijn verricht lenen deze zich minder goed voor een cijfermatige benadering van de trend.

5.5. C o n c l u s i e s

Op de ongewijzigde meetpunten kon een bescheiden jaarlijkse toename van 0,4 km/h worden aangetoond; op de gewijzigde meetpunten bleek van een significante toe- of afname geen sprake. Ook voor het totaal van de situaties bleek de gemiddelde snelheid ten opzichte van 1973 niet significant te zijn gewijzigd.

Alhoewel ten tijde van de oliecrisis een duidelijke wijziging in de snelheidsverdeling viel waar te nemen heeft nadien een herstel plaatsgevonden. In hoeverre de limiet van 80 km/h op de onderzochte wegen thans van invloed is op het snelheidsgemiddelde valt uiteraard niet exact aan te geven. Wel blijkt dat gemiddeld circa een kwart van de automobilisten deze limiet overschrijdt: ongeveer evenveel als voor de oliecrisis.

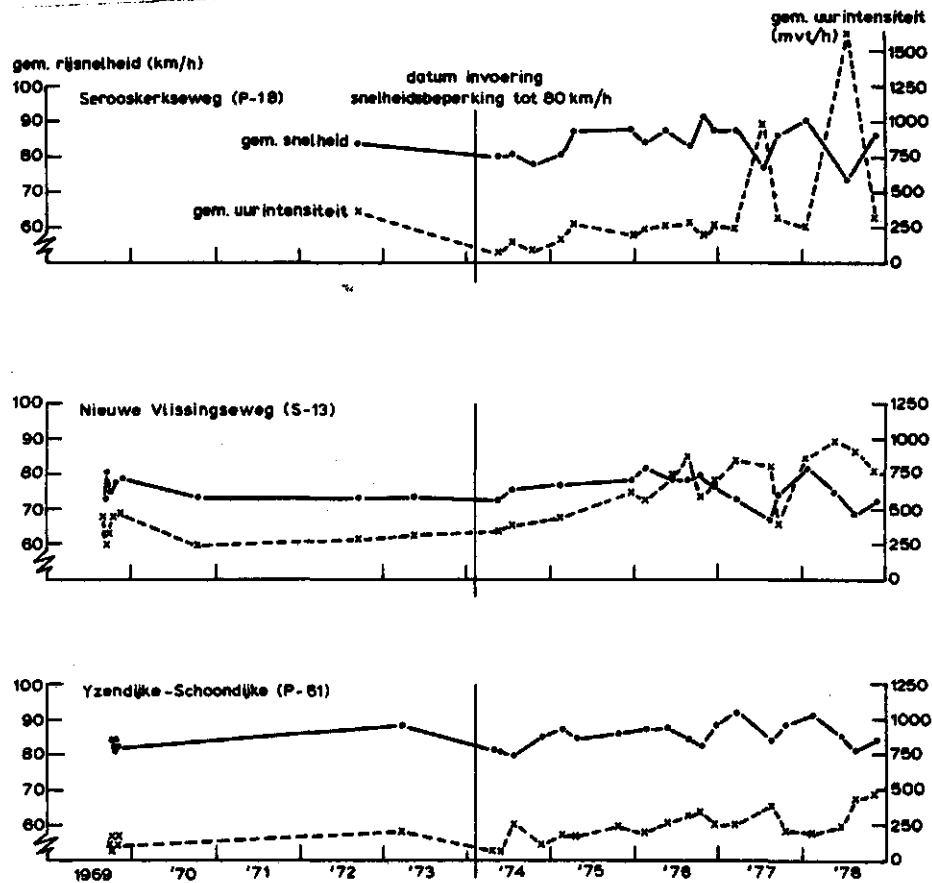


Fig. 4. Gemiddelde rijnsnelheid van motorvoertuigen en hun uurintensiteit (gemeten tijdens snelheidsmetingen) op drie vaste meetpunten op niet-autowegen in Zeeland over een reeks van jaren (Bron: PROVINCIALE WATERSTAAT IN ZEELAND)

6. NIET-LINEAIRE MODELLEN

6.1. Formulering van deelfuncties

Zoals de probleemstelling vermeldt kon met het in 1973 verzameld materiaal een significant (lineair) verband worden aangetoond van zowel het gemiddelde als de 85%-snelheid met het zicht langs de weg-as, met de bochtigheid en met de vrijbaanbreedte.

Alhoewel hierdoor inzicht werd verkregen in het aandeel van elk der wegkenmerken in het statistisch verband met de gemeten snelheden wordt het feitelijk gedrag van de gemiddelde automobilist hiermee niet beschreven in de vorm van een causale relatie. Ten einde de reactie van de automobilist op veranderingen in elk der factoren theoretisch te kunnen beschrijven is gezocht naar een niet-lineair verband tussen de snelheid en elk der wegkenmerken. Een bruikbaar selectie criterium hiervoor is de rangcorrelatietoets van Spearman. Indien wordt getoetst met een eenzijdige overschrijdingskans van 2,5% blijkt opnieuw een significant verband van zowel de gemiddelde als de 85%-snelheid met het zicht langs de weg-as, met de bochtigheid en met de vrijbaanbreedte.

Tussen de snelheid en de verhardingsbreedte, het zicht in de omgeving, de vlakheid van de verharding en de verkeersintensiteit en -samenstelling kon geen significant verband worden aangetoond.

Ten aanzien van de verhardingsbreedte wordt de hypothese dat deze weinig of geen invloed op de snelheid heeft, door dit onderzoek bevestigd; resultaten uit eerdere studies wezen in dezelfde richting (VAN KEULEN, 1966; HOOGELAND, 1967).

De wijze van kwantificeren van het zicht in de omgeving berust op de veronderstelling dat de waarneming door de automobilist over de gehele breedte van het visuele wegbeeld even intensief is. Wellicht zouden zichtbelemmeringen zoals begroeiing en bebouwing in het centrale deel van het wegbeeld bij het beoordelen van het zicht in de omgeving zwaarder moeten wegen.

De onvlakheid van de verharding als maat voor de afwijkingen van het wegvak ten opzichte van een plat vlak werd bepaald met een zogenaamde schokmeter. Bij de onderzochte wegen bleek de spreiding

in deze factor zo gering dat geen correlatie met de snelheid kon worden aangetoond. Overigens bleken alle wegvakken dermate vlak dat hiervan geen invloed op de rijsnelheid mag worden verwacht.

De verkeersintensiteit en -samenstelling, met behulp van wegingsfactoren per voertuigcategorie geaggregeerd tot aantallen personenauto-eenheden (PAE), bleek eveneens niet gecorreleerd met de rijsnelheid. Op de vanuit een oogpunt van wegontwerp belangrijke relatie tussen de snelheid en intensiteit werd in 4 reeds uitvoerig ingegaan.

Voor elk van de drie hierboven genoemde significante factoren wordt nu de hypothese betreffende de invloed op de snelheid in wiskundige vorm genuanceerd hetgeen hierna wordt toegelicht.

Voor zowel het zicht langs de wegas (Z_w) als de vrijbaanbreedte (B_b) wordt verondersteld dat deze factoren, boven een bepaalde hoge waarde, geen merkbare verlaging meer veroorzaken van de wenssnelheid v_o van de automobilist (zie fig. 5).

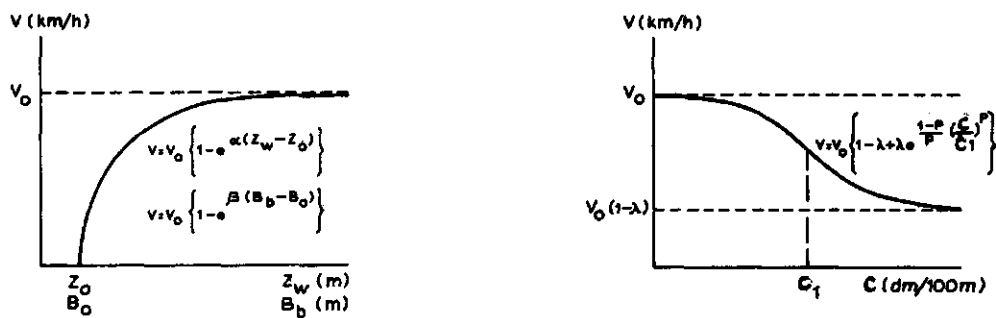


Fig. 5. Hypothesen voor een niet-lineair verband van zicht langs de wegas (Z_w), vrijbaanbreedte (B_b) en bochtigheid (C) met de rijsnelheid v

v_o is de maximaal mogelijke snelheid waarmee een automobilist zich wenst te verplaatsen indien de drie modelvariabelen geen beperkende invloed hebben op de snelheid gegeven de technische beperkingen van zijn voertuig en de niet in het model opgenomen overige factoren. Tevens wordt aangenomen dat bij een bepaalde, zeer kleine waarde van elk van deze factoren (Z_o resp. B_o) de snelheid tot nul is gedaald.

Op het tussenliggende traject wordt verondersteld dat de reductie ten opzichte van de wensnelheid exponentieel verloopt. De functies die hiermee kunnen worden opgesteld krijgen dan de volgende gedaante. Voor de relatie tussen het zicht langs de wegas en de snelheid:

$$v = v_0 \left[1 - e^{\alpha(Z_w - Z_0)} \right] \quad (8)$$

waarin: v = snelheid (km/h)
 Z_w = zicht langs de wegas (m)
 v_0, α, Z_0 = parameters $\alpha < 0; Z_0 > 0$

en voor de relatie tussen de vrijebaanbreedte en de snelheid:

$$v = v_0 \left[1 - e^{\beta(B_b - B_0)} \right] \quad (9)$$

waarin: v = snelheid (km/h)
 B_b = vrijebaanbreedte (m)
 v_0, β, B_0 = parameters $\beta < 0; B_0 > 0$

Op identieke wijze werd een functie opgesteld betreffende de invloed van de bochtigheid (C) op de snelheid (zie fig. 5). Hierbij is verondersteld dat een automobilist op het meetpunt zijn wensnelheid zal kunnen realiseren indien het voorgaande traject van 100 m geheel recht is (C = 0). Verder zal bij zeer hoge waarden van de bochtigheid (b.v. minimum draaicirkel van het voertuig) nog altijd met een bepaalde, lagere snelheid kunnen worden gereden. Voor tussenliggende waarden wordt een S-vormig snelheidsverloop verondersteld:

$$v = v_0 \left[1 - \lambda + \lambda e^{\frac{1-p}{p} \left(\frac{C}{C_1} \right)^p} \right] \quad (10)$$

waarin: v = snelheid (km/h)
 C = bochtigheid (dm/100 m)
 v_0, λ, p, C_1 = parameters $0 < \lambda < 1; p > 1; C_1 > 0$

De hierboven beschreven functies zullen opnieuw ter sprake komen bij de keuze van de rekentechniek in hoofdstuk 6.2.

6.2. Keuze rekentechniek

De hierboven geïntroduceerde functies beschrijven het verloop van de snelheid onder invloed van één factor, aangenomen dat de overige factoren daarbij geen beperkende invloed hebben. Het is evenwel waarschijnlijk dat de snelheid op een meetpunt slechts wordt bepaald door die factor welke op dat meetpunt de sterkste beperking vormt terwijl de overige factoren dan een ondergeschikte rol spelen.

Aldus zou een rekenprocedure moeten worden ontworpen waarin per situatie slechts één factor maatgevend is, namelijk die, welke in die situatie de sterkste beperking vormt.

Met de hier gebruikte gegevens blijkt echter vooralsnog geen betere berekeningswijze voorhanden dan combinatie van de drie deelfuncties in een multiplicatief model:

$$y = v_0 \left[1 - e^{-\alpha(Z_w - Z_0)} \right] \left[1 - \lambda + \lambda e^{\frac{1-p}{p} \left(\frac{C}{C_1}\right)^p} \right] \left[1 - e^{-\beta(B_b - B_0)} \right] \quad (11)$$

waarin: y	= snelheid (km/h)
Z_w	= zicht langs de wegas (m)
C	= bochtigheid (dm/100 m)
B_b	= vrijebaanbreedte (m)
$v_0, \alpha, Z_0, \lambda, p, C_1, \beta, B_0$	= parameters

Alhoewel de deelfuncties uitgaan van de reactie van de individuele automobilist op verandering in de betreffende factor wordt aangenomen dat het aldus gestelde model ook op het gemiddelde en de 85%-snelheid van een gehele snelheidsverdeling van toepassing is.

Een bezwaar van deze multiplicatieve Cobb-Douglas-functie zou kunnen zijn dat de snelheid nu gelijktijdig door drie factoren wordt gereduceerd. Door de onderlinge vermenigvuldiging van de deelfuncties wordt daarbij voor ieder meetpunt het reducerende effect van de meest beperkende factor gedeeltelijk overgeheveld naar de twee overige factoren. De parameters worden in elk der deelfuncties ten onrechte be-

rekend uit beperkingen op alle punten. Ze kunnen daardoor worden gedwongen onjuiste waarden aan te nemen waardoor het totale model nog relatief onnauwkeurig is.

Deze theoretische onjuistheid van model (11) kan slechts worden ondervangen door, zoals hiervoor werd opgemerkt, een rekenprocedure te ontwerpen waarin slechts één factor maatgevend is. Dit vereist evenwel een aanvullende verzameling van gegevens. Voor de vereffening van elk der individuele deelfuncties is dan een reeks meetpunten vereist waarvan zeker is dat de factor uit de betreffende deelfunctie daar de meest beperkende is.

6.3. B e r e k e n i n g m o d e l p a r a m e t e r s

Berekening van de parameters in model (11) met behulp van niet-lineaire regressie moet nu uitwijzen in hoeverre met het model de gemiddelde en 85%-snelheid voldoende betrouwbaar kunnen worden beschreven. Voor deze berekening is gebruik gemaakt van waarnemingen in 56 situaties in 1973 en 20 ongewijzigde situaties in 1977; de 5 meetpunten waar de wegkenmerken zodanig zijn veranderd (zie 3.4) dat hier ten opzichte van 1973 een geheel nieuwe situatie is ontstaan zijn om die reden niet in deze berekeningen opgenomen. Als derde reeks zijn de waarnemingen in 1973 en 1977 samengevoegd. Vereffening van model (11) vond plaats voor de gemiddelde snelheid (\bar{v}) en voor de 85%-snelheid ($v_{85\%}$).

Hoewel op grond van rangcorrelatie kon worden vastgesteld dat 'bochtigheid' een significant verband met de snelheid vertoont blijkt na deze vereffening dat de deelfunctie waarin de bochtigheid voorkomt nauwelijks van de waarde één afwijkt; de snelheid wordt in de hier gebruikte metingen kennelijk niet door deze factor gereduceerd.

In tabel 5 is daarom (11) berekend zonder de bochtigheid.

Voorts blijkt dat de minimumzichtlengte Z_0 , welke in het model werd verondersteld, een dermate lage waarde aanneemt dat verwaarlozing hiervan niet van invloed is op de overige parameterwaarden, hetzelfde geldt voor de minimum-waarde B_0 voor de vrijbaanbreedte

Uit tabel 5 blijkt, zowel bij de gemiddelde als de 85%-snelheid, dat de parameterwaarden berekend met elk der drie waarnemingsreeksen

Tabel 5. Resultaten van vereffening van model (11): $y = v_0 \left[1 - e^{-\alpha(Z_w - Z_0)} \right] \left[1 - e^{-\beta(B_b - B_0)} \right]$

Jaar van waarneming	Aantal situaties	Regressiecoëfficiënten					Correlatie-coëfficiënt	Standaardafwijking (km/h)
		v_0 (km/h)	α (m ⁻¹)	Z_0 (m)	β (m ⁻¹)	B_0 (m)		
1973	56	79,2	-0,014	0,197	-0,268	0,000	0,65	8,73
1977	20	85,5	-0,017	0,095	-0,202	0,018	0,54	9,86
1973+1977	76	80,5	-0,015	0,076	-0,249	0,016	0,61	8,94
Gemiddelde snelheid (\bar{v})								
1973	56	88,9	-0,013	0,175	niet berekend		0,63	11,43
1977	20	99,5	-0,016	0,054	-0,213	0,005	0,54	12,03
1973+1977	76	97,5	-0,014	0,092	-0,240	0,015	0,65	10,9
85%-snelheid ($v_{85\%}$)								

onderling slechts in geringe mate verschillen. Na toepassing van de F-toets, met een tweezijdige overschrijdingskans van 5%, blijken de restvarianties niet significant te verschillen zodat geconcludeerd kan worden dat de nauwkeurigheid van de voorspelling van zowel de gemiddelde als de 85%-snelheid met elk der drie reeksen ongeveer even groot is.

Uit het bovenstaande volgt dat model (11) kan worden vereenvoudigd:

$$y = v_0 \left[1 - e^{-\alpha Z_w} \right] \left[1 - e^{-\beta B_b} \right] \quad (12)$$

Voorts blijkt dat (12) kan worden berekend met de samengevoegde waarnemingen uit 1973 en 1977; fig. 6 toont hiervan het resultaat.

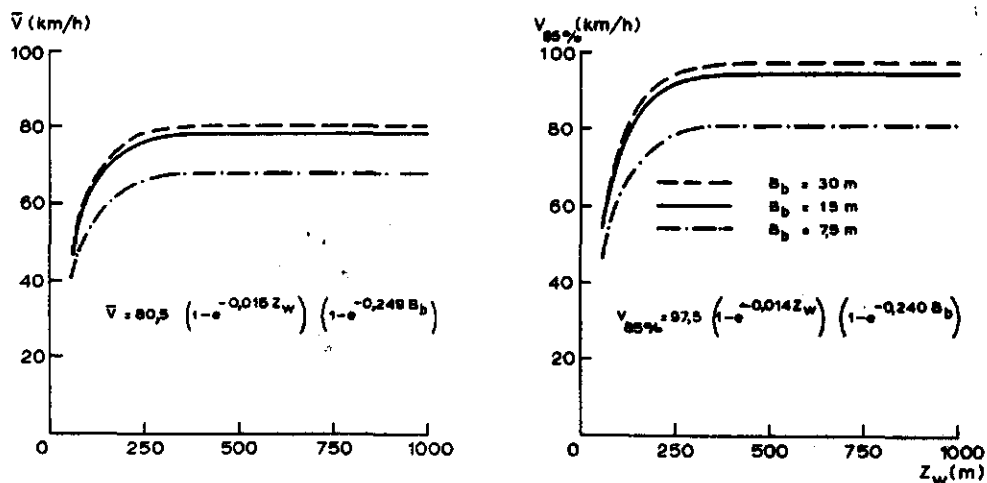


Fig. 6. Verloop van gemiddelde (\bar{v}) en 85%-snelheid ($v_{85\%}$) bij variabele zichtlengte (Z_w) en vrijebaanbreedte (B_b), vereffening van 76 samengevoegde situaties uit 1973 en 1977

Hieruit blijkt dat bij een zicht langs de weg groter dan ca. 400 m in combinatie met een vrijebaanbreedte van ca. 30 m geen reductie van de wenssnelheid (v_0) meer optreedt; halvering van de vrijebaanbreedte tot 15 m resulteert in een snelheidsverloop dat nauwelijks (ca. 3%) lager ligt. Bij een vrijebaanbreedte van 7,5 m wordt de snelheid over het gehele traject met ca. 16% gereduceerd.

De conclusie hieruit is dat merkbare reductie ten opzichte van de wensnelheid optreedt bij zichtlengten kleiner dan ca. 400 m en vrijebaanbreedten kleiner dan ca. 15 m.

6.4. Toetsing modeluitkomsten

Reeds eerder werden lineaire regressievergelijkingen afgeleid voor zowel de gemiddelde als de 85%-snelheid met de logaritme van het zicht langs de weg als verklarende variabele (MICHELS en VAN DER HEIJDEN, 1973). De resultaten hiervan zijn samengevat in tabel 6.

Tabel 6. Resultaten van vereffening van $y = a_1 \log Z_w + a_2$ met waarnemingen op 56 situaties in 1973

	Regressiecoëfficiënten		Correlatiecoëfficiënt	Standaardafwijking (km/h)
	a_1	a_2		
Gemiddelde snelheid (\bar{v})	28,2	- 2,8	0,75	7,36
85%-snelheid ($v_{85\%}$)	38,0	-14,3	0,79	8,90

De resultaten van de niet-lineaire regressie (tabel 5) tonen aan dat bij alle zes waarnemingsreeksen slechts van een matige correlatie tussen de gemeten snelheid en de modeluitkomst kan worden gesproken.

Toepassing van de F-toets, met een tweezijdige overschrijdingskans van 5%, op de restvarianties van elk der reeksen van het vereenvoudigde niet-lineaire model (tabel 5) en die van de lineaire regressievergelijking (tabel 6) van zowel de gemiddelde als de 85%-snelheid toont aan dat de nauwkeurigheid waarmee de variatie in de snelheid kan worden voorspeld in geen der reeksen significant van elkaar verschilt. Hoewel de deelfuncties van het niet-lineaire model een theoretisch juistere beschrijving geven van de wijze waarop de snelheid op diverse variabelen reageert, kan met dit model dus de gemiddelde en 85%-snelheid vooralsnog niet beter worden voorspeld dan met de eerder afgeleide lineaire regressievergelijking.

7. VOORTZETTING VAN HET ONDERZOEK

De ervaringen tot nu toe vormen aanleiding het onderzoek voort te zetten, waarbij enkele punten bijzondere aandacht zullen krijgen.

Ter ondervanging van de in 6.2 besproken theoretische onjuistheid van de Cobb-Douglas-gedaante van model (11) zou een rekenprocedure moeten worden ontworpen waarin per situatie slechts één factor maatgevend is, namelijk die welke in die situatie de sterkste beperking vormt. Dit vereist een aanvullende verzameling van gegevens; voor de vereffening van elk der individuele deelfuncties is een reeks meetpunten vereist, waarvan zeker is dat de factor uit de betreffende deelfunctie daar de meest beperkende is.

Bij de gehanteerde meettechniek ten aanzien van het zicht langs de wegas werd als hypothetische reactie-afstand 100 m gekozen (zie 3.3). Nu de zichtlengte als een belangrijke factor uit de analyse naar voren treedt, is het van belang deze hypothese te verifiëren. Dit kan onder andere worden gedaan door na te gaan, bij welke reactie-afstand het vereenvoudigd model (12) de kleinste restspreiding oplevert. Daartoe is de zichtlengte op de bestaande meetpunten opnieuw gemeten waarbij de reactie-afstand in stappen van 25 m varieerde tussen 0 en 200 m vóór het snelheidsmeetpunt. Een eerste voorlopige conclusie is dat de beste aansluiting wordt verkregen indien de zichtlengte wordt gemeten vanaf een punt tussen 50 en 100 m voor het snelheidsmeetpunt; de analyse hiervan wordt voortgezet.

De meettechniek ten aanzien van de vrijebaanbreedte heeft zich tot nu toe beperkt tot één criterium: de breedte tussen (hoge) obstakels en/of slotinsteek. Genuanceerder onderscheid van obstakels naar hun 'hardheid', afmeting en afstand tot de kant van de verharding zal het effect van deze factor op de snelheid beter zichtbaar kunnen maken. In nauwe samenhang hiermee zou de meettechniek voor het zicht in de omgeving moeten worden verfijnd. Tot nu toe is dit doorzicht beoordeeld met behulp van foto-opnamen waarbij werd aangenomen dat alle elementen (zoals begroeiing, bebouwing) binnen een straal van 100 m rond het punt van de foto-opname al naar gelang hun ruimtebeslag op de foto van invloed zijn op de overzichtelijkheid van het terrein. Wellicht moet het wegbeeld worden verdeeld in zones

met verschillend gewicht van de waarnemingsintensiteit.

De in deze nota beschreven modellen beogen de snelheid op een bepaalde dwarsdoorsnede van een weg af te leiden uit enkele variabelen welke ter plaatse van die dwarsdoorsnede worden gemeten. Indien evenwel, bijvoorbeeld ten behoeve van ritdistributie, routekeuze of batenberekeningen van wegreconstructies, de reistijd op een wegvak moet worden geschat is inzicht nodig in de gemiddelde snelheid waarmee dit gehele wegvak wordt bereden. Een volgende stap in het onderzoek zal dan ook zijn het ontwikkelen van een methode waarmee het verloop van de momentane snelheden als functie van de relevante invloedsfactoren kan worden vertaald in een gemiddelde snelheid waarmee een bepaald traject wordt afgelegd.

8. LITERATUUR

- CENTRAAL BUREAU VOOR DE STATISTIEK, 1976. Statistiek van de wegen, 1 januari 1975. 's-Gravenhage.
- CENTRALE CULTUURTECHNISCHE COMMISSIE. Jaarverslagen 1975 en 1977. Utrecht.
- FARTHING, DAVID W., 1977. Some factors affecting rural speed/flow relations. Traffic Engineering and Control, Vol. 18 No. 1.
- HEERE, E. en S. AKKERMAN, 1973. Verband tussen snelheid, dichtheid en intensiteit, getoetst met behulp van snelheids- en intensiteitsmetingen volgens de moving-observer methode. Verkeers-techniek 24-5.
- HIGHWAY RESEARCH BOARD, 1965. Highway Capacity Manual. Special Report 87. Washington.
- HOOGELAND, G.D., 1967. Verkeersonderzoek op plattelandswegen in Nederland. Polytechnisch Tijdschrift 22/24, 25 en 26.
- KEULEN, J.G. VAN, 1964. Rijsnelheden op landbouwwegen. Nota ICW 280, Wageningen.
- MICHELS, Th. en Th.G.C. VAN DER HEIJDEN, 1973. Snelheidsgedrag van automobilisten op wegen buiten de bebouwde kom. Nota ICW 786, Wageningen.
- en Th.G.C. VAN DER HEIJDEN, 1975. Rijsnelheden voor en na de oliecrisis. Verkeerskunde 26/9.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT, 1972. Two-lane rural roads: design and traffic flow, Paris.
- PROVINCIALE WATERSTAAT VAN GELDERLAND, 1975. Intensiteitstellingen van het verkeer, 1975. Arnhem.
- PROVINCIALE WATERSTAAT IN ZEELAND. Overzichten van snelheden op Zeeuwse wegen. Niet gepubliceerd.
- RIJN, H.D.L. VAN, 1977. Inventarisatie van de plattelandswegen. Werkgroep Inventarisatie Landbouw. Utrecht.
- ROAD RESEARCH LABORATORY, 1971. Speed/flow formulae for rural roads. LF 170, issue 2. Crowthorne.
- VEEN, B.Y. VAN DER, 1977. Onderzoek naar de snelheidsverdelingen van personenauto's in 1973 en 1977 alsmede naar de trend in de snelheid. Scriptie. Wageningen.

WAHLGREN, O., 1967. The dependence of vehicle speeds on different factors - particularly road geometry - on two-lane highways in Finland. Helsinki.