

prof.dr.ir. Hans De Backer
Associate professor
Ghent University
Department of Civil Engineering
Technologiepark Zwijnaarde 60 – 9052 Zwijnaarde

- Rijdynamica - bewegingsvergelijking v.e. voertuig
- Remkrachten
- Remafstanden in rechte lijn / bocht / motorremmen
- Realisatie van dwarsverkanting / Wentelende verkanting
- Het nut van de overgangsboog

- Bij het opstellen van de algemene bewegingsvergelijking van een voertuig moet men voor de bepaling van het motorvermogen rekening houden met het overwinnen van een aantal weerstanden:
 - Rolweerstand;
 - Hellingsinvloed;
 - Luchtweerstand;
 - Traagheidskrachten.

$$T = T_{rolweerstand} + T_{hellingsinvloed} + R_{luchtweerstand} + R_{traagheidskrachten}$$

$$T = K.G \pm i.G + v_{rl}^2 . \Omega_l . k_l \pm G . \frac{\gamma}{g} \pm \frac{G_w}{g} . K_r^2 . \frac{\gamma}{r^2}$$



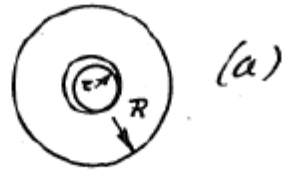
- Rolweerstand:

Rolweerstand is de weerstand die een rond voorwerp, zoals een wiel, een kogel en een cilinder, ondervindt als het rolt over een oppervlak. De oorzaak van rolweerstand is voornamelijk gelegen in de vervorming van zowel het voorwerp als het oppervlak. Daarnaast spelen ook andere factoren een rol, waaronder de adhesie tussen het voorwerp en het oppervlak. De rolweerstand van een stalen wiel over een spoorrails bij een trein is aanzienlijk lager dan de rolweerstand van een rubber autoband over asfalt. Dit komt doordat het rubber van de band meer vervormt en er bij een rubberen band door deze vervorming een groter contactoppervlak ontstaat met de weg. Dit contactoppervlak is bepalend voor de rolweerstand. Net als bij wrijving is de kracht ten gevolge van de rolweerstand min of meer evenredig met de normaalkracht op het oppervlak. Let wel dat de vorm van dit contactoppervlak ook een rol speelt bij de bepaling van de rolweerstand. Dat komt tot uiting bij bijvoorbeeld fietsbanden: brede banden hebben minder rolweerstand dan smalle, mits ze even hard opgepompt zijn en van vergelijkbare constructie zijn.

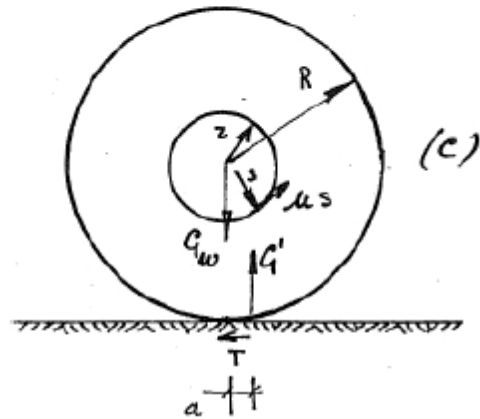
- Rolweerstand:

De vervorming die bij de brede band optreedt is meer in de breedte dan bij de smalle band waar de vervorming meer in de draairichting plaatsvindt. En deze laatste is juist meer bepalend voor de rolweerstand. Kleine wielen zullen een grotere rolweerstand hebben dan grote wielen onder dezelfde gebruiksomstandigheden (de wielen zijn even breed, dezelfde materialen en constructie en dezelfde belasting). Dit komt doordat de kleinere diameter verder in het wegoppervlak wordt gedrukt. In het extreem: veronderstel het kleine wiel wordt steeds kleiner, dan zal de belasting op de weg vergelijkbaar worden met een puntbelasting welke zeer grote vervorming veroorzaakt, en dus zeer grote rolweerstand.

- Rolweerstand



$$T = Q\mu\frac{r}{R} + G'\frac{a}{R}$$

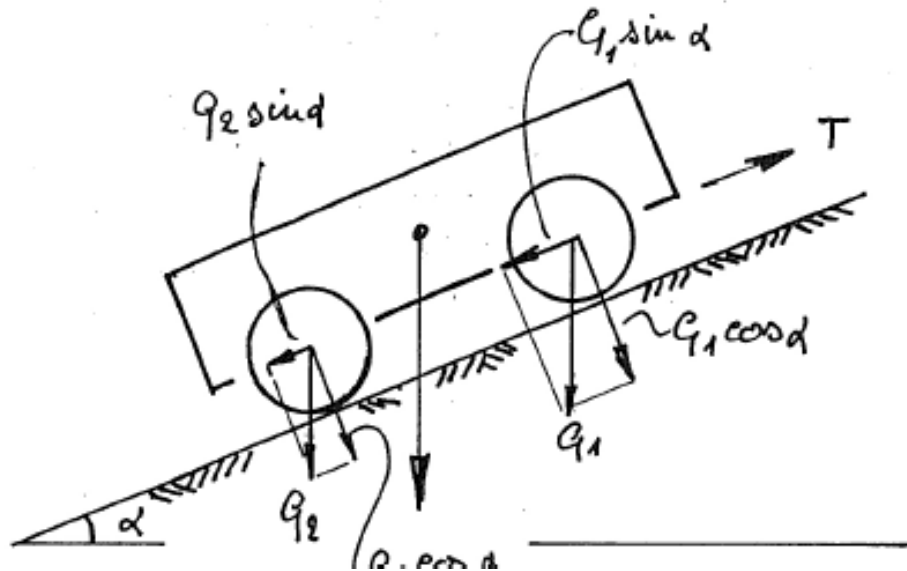


- Rolweerstand
 - Beschouw de aswrijving. Om de tangentiële wrijvingskracht in het wegoppervlak te doen dalen, moet men:
 - μ doen dalen: de lagers smeren;
 - r doen dalen: is in realiteit beperkt;
 - R doen stijgen: een zo groot mogelijk wiel gebruiken.
 - Beschouw de rolwrijving. Om de tangentiële wrijvingskracht in het wegoppervlak te doen dalen, moet men:
 - R doen stijgen: een zo groot mogelijk wiel gebruiken;
 - a doen dalen: de vervorming zo beperkt mogelijk houden door met een hoge bandendruk op een zo glad mogelijk wegoppervlak te rijden.

- Hellingsinvloed

$$T = (G_1 + G_2) \cdot \cos \alpha \cdot k - (G_1 + G_2) \cdot \sin \alpha$$

$$T = (G_1 + G_2) \sin \alpha + (G_1 + G_2) \cos \alpha \cdot k$$



- Hellingsinvloed

$$\frac{T_{stijgend}}{T_{horizontaal}} = \frac{k + i}{k_{G-onafhankelijk}} = 1 + \frac{i}{k}$$

- Indien i gelijk is aan k , heeft dit tot gevolg dat de kracht T gelijk is aan nul. Dit dient geïnterpreteerd te worden dat het voertuig nog net in rust is. Bij een iets grotere helling of een iets beperktere tractie komt het voertuig in beweging;
- Indien i groter is dan k , heeft dit tot gevolg dat de kracht T kleiner is dan nul. Op dit ogenblik is de wagen in beweging en continu versnellend. Om de snelheid, constant te houden moet geremd worden met een kracht gelijk aan T ;

- Hellingsinvloed

$$\frac{T_{stijgend}}{T_{horizontaal}} = \frac{k + i}{k_{G-onafhankelijk}} = 1 + \frac{i}{k}$$

- De relatieve aandelen van de "hellingsweerstand" en de "rolwrijvingsweerstand" in de globale tractiecoëfficiënt zijn afhankelijk van de helling enerzijds en van de rolwrijving (met andere woorden de toestand van de weg en het wiel) anderzijds. Een spoorweg bijvoorbeeld, is gekenmerkt door een bijzonder lage rolwrijving, zodat het reeds bij een heel kleine helling noodzakelijk wordt om te remmen.
- Voor een helling van 4%:
 - Weg: $k=0.05$, dus $T(\text{stijgend}) = 1.8 \times T(\text{horizontaal})$
 - Spoorweg: $k=0.005$, dus $T(\text{stijgend}) = 10.8 \times T(\text{horizontaal})$
 - Waterweg: $k=0.00083$, dus $T(\text{stijgend}) = 49.2 \times T(\text{horizontaal})$

- Luchtweerstand is de kracht die een voorwerp ondervindt als het zich voortbeweegt door de lucht. Op analoge wijze wordt weerstand ondervonden van elk ander medium waar een voorwerp zich doorheen beweegt. De formule voor luchtweerstand geldt niet alleen voor lucht, maar ook voor andere gassen en vloeistoffen.

$$R_l = \frac{\delta_l}{2} \cdot c_l \cdot \Omega_t \cdot v_{rl}^2$$



Beschrijving	c_l [—]
Baksteen	2,1
Vrachtauto	>0,6
Hummer H2, 2003	0,57
Citroën 2CV	0,51
Toyota Prius	0,25
Fietser	0,9

- Traagheidskrachten : Om een snelheidsverandering van een voertuig te bewerkstellingen dient een tegenwerkende kracht overwonnen worden die verantwoordelijk is voor een toename of een afname van de energie. Naast de met deze versnelling of vertraging, overeenstemmende traagheidskracht die de translatie-energie voorstelt dient ook rekening gehouden te worden met een traagheidskoppel dat de rotatie-energie voorstelt.

- Translatie

$$R_\gamma = \frac{G}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{G}{g} \cdot \gamma$$

- Rotatie

$$F = \frac{1}{r} \cdot \left(\frac{G_w}{g} \cdot K_r^2 \cdot \frac{\gamma}{r} \right) = \frac{G_w}{g} \cdot K_r^2 \cdot \frac{\gamma}{r^2}$$

Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat, aangezien het globale gewicht van de roterende onderdelen van een voertuig minder dan 5% bedraagt van het totale gewicht, deze kracht beduidend lager is.

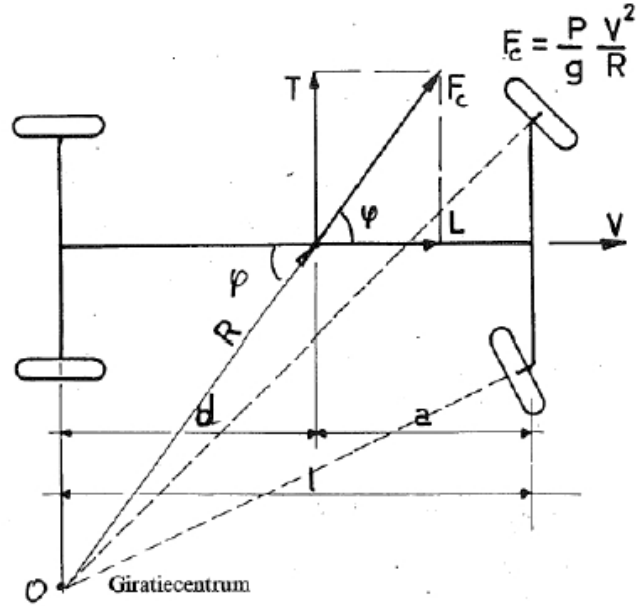
- Totale bewegingsvergelijking

- $c_l = 0,6$
- $m = 1500kg$
- $\Omega_l = 2,1m^2$
- $i = 3\%$
- $v_{rl} = 120km/h$

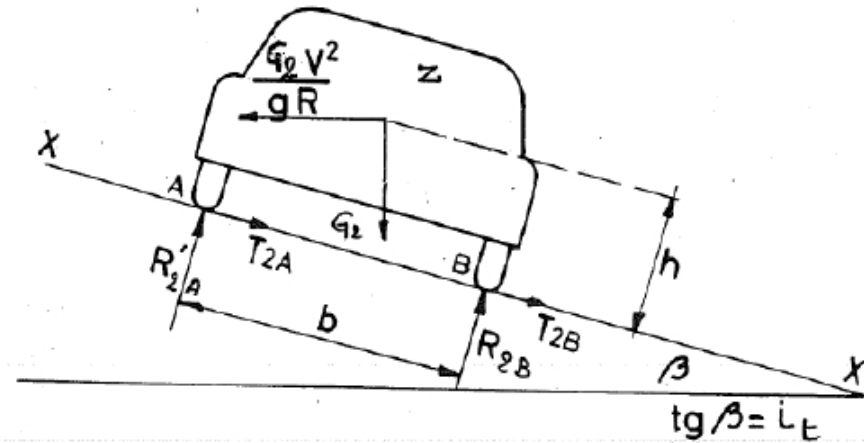
Krachtswerking	Kracht	Percentage
Rolweerstand	220,7 N	14,6 %
Hellingsinvloed	441,5 N	29 %
Luchtweerstand	853,5 N	56,4 %
Totaal	1515,7 N	

- Bocht in grondplan:
- Alle tot op dit ogenblik beschouwde krachten zijn krachten die werken volgens de langsrichting van het voertuig. De beschouwde situatie betreft dus een voertuig dat op een rechte weg rijdt, zonder wind en op een perfecte rijwegbekleding. In realiteit ontstaan er echter dwarse krachten omwille van:
 - afwijkingen veroorzaakt door de luchtbanden;
 - de zijwind;
 - oneffenheden van het rijwegoppervlak;
 - centrifugaalkrachten in de bochten. Deze vormen de belangrijkste factor. Deze krachten zijn gericht volgens de uit het centrum van de draaibeweging door het zwaartepunt van de wagen getrokken vector

- Bocht in grondplan

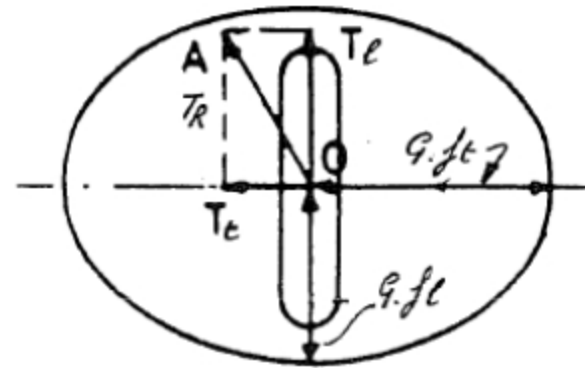


$$\Delta R_2 = \pm G_2 \cdot \left(\frac{v^2}{g \cdot R} - i_t \right) \cdot \frac{h}{b}$$



- Remkrachten
 - Voorwaarde voor niet-slippen

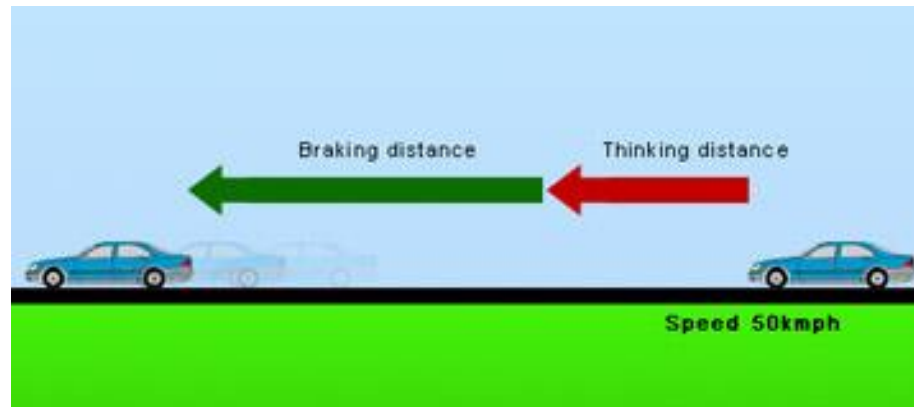
$$\left(\frac{T_{2,l}}{G_{2,f_l}}\right)^2 + \left(\frac{T_{2,t}}{G_{2,f_t}}\right)^2 \leq 1$$



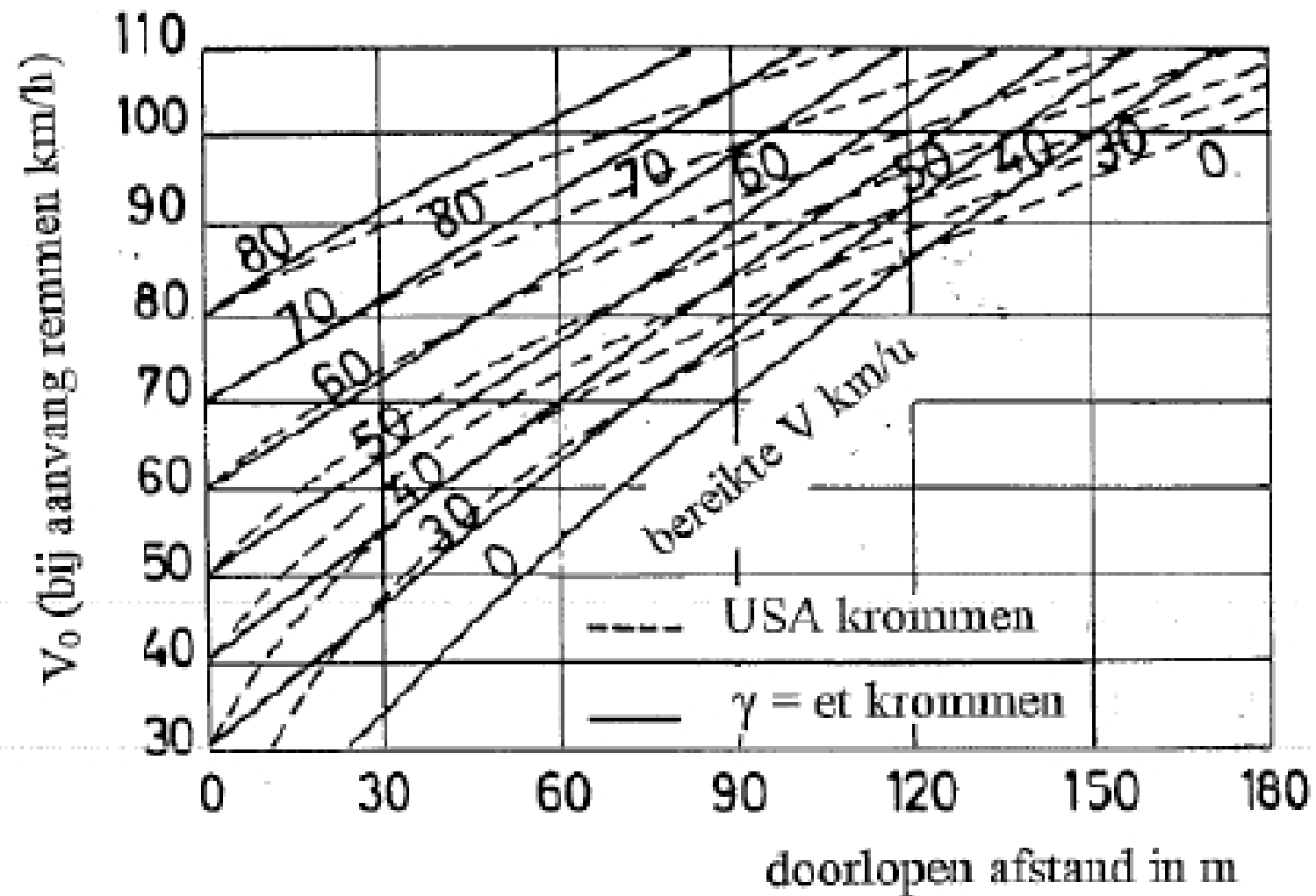
- Algemene evenwichtsvergelijking

$$\left| \frac{v^2}{g.R} - i_t \right| \leq \frac{\phi_t}{\phi_l} \sqrt{\phi_l^2 - \left(i_l + \frac{\gamma}{g} + \rho \right)^2}$$

- Een van de belangrijkste factoren voor een veilige dimensionering van de weggeometrie is de remafstand. De bepaling hiervan gebeurt niet enkel op basis van de eerder afgeleide bewegingswetten, doch ook op basis van menselijke factoren. Er treedt immers een bijkomende vertraging op, die het gevolg is van:
 - Perceptietijd: de tijd om de probleemsituatie waar te nemen en zich er bewust van te worden;
 - Reactietijd: het eigenlijke reageren, in casu het induwen van de rempedaal.



- $\gamma = 2,5 - 2,75m/s^2$: comfortabel;
- $\gamma < 3,5m/s^2$: aanvaardbaar;
- $\gamma \geq 4,25m/s^2$: oncomfortabel;
- $\gamma \geq 7m/s^2$: de passagiers worden uit de zetels gerukt;



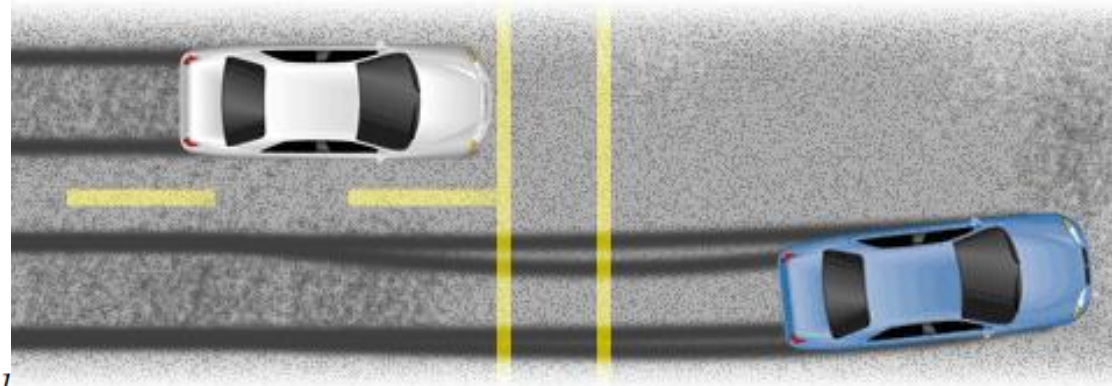
- Remafstand in rechte lijn

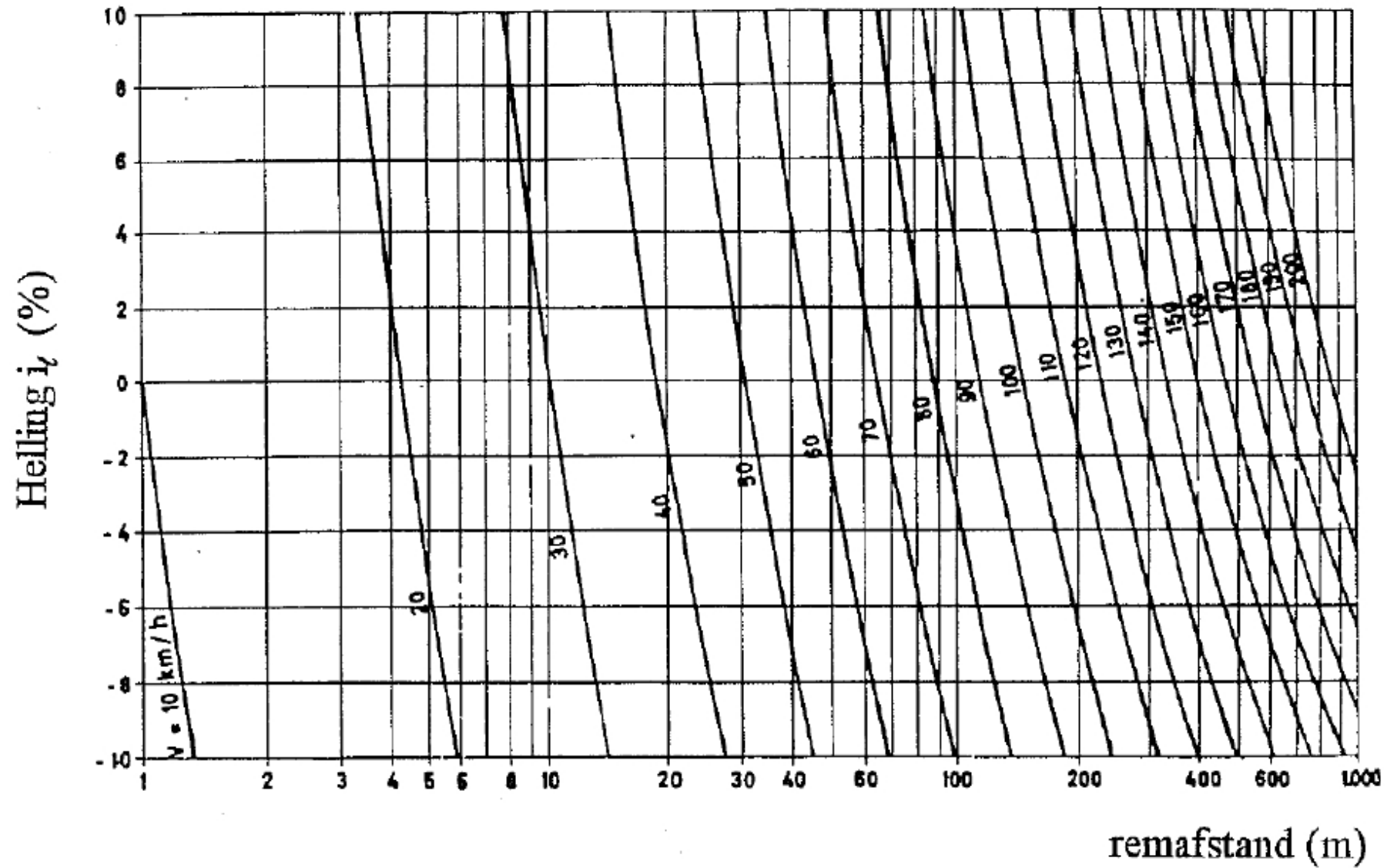
$$\begin{aligned} L &= \int_0^T v \cdot dt \\ &= \int_0^{v_0} \frac{v}{\gamma_d} dv \end{aligned}$$

$$L_{rechte\ lijn} = \int_0^{v_0} \frac{v}{g \cdot (i_l + \phi_l)} dv$$

$$\phi_l = \phi_0 \cdot (1 - K \cdot \sqrt{v})$$

$$\alpha = (\phi_0 + i_l) / (K \cdot \phi_0)$$





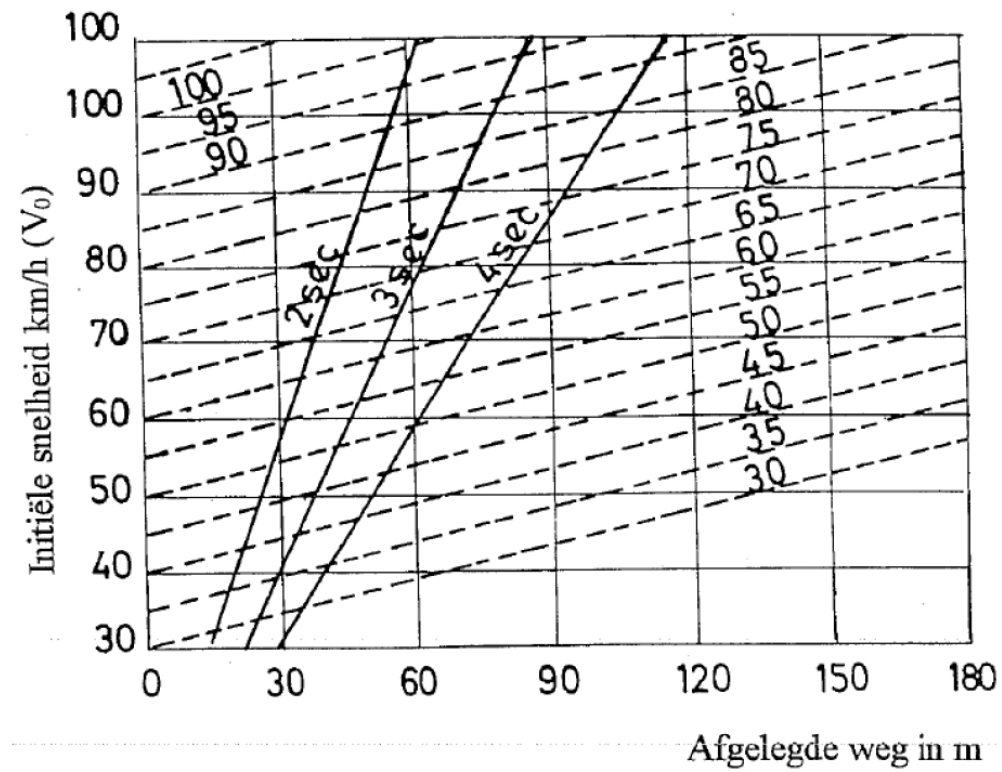
- Remafstand in bocht
- De berekening voor de remafstand in bocht is grotendeels gelijkaardig aan deze in rechte lijn. Het belangrijkste verschil is dat de maximale waarde van de versnelling, niet langer constant is, maar een functie wordt van de snelheid v .

$$\gamma_d = g \cdot \left(i_l + \sqrt{\phi_l^2 - \left(\frac{\phi_l}{\phi_t} \right)^2 \cdot \left(\frac{v^2}{g \cdot R} - i_t^2 \right)} \right)$$
$$L_{bocht} = \int_0^v \frac{v}{g \cdot \left(i_l + \sqrt{\phi_l^2 - \left(\frac{\phi_l}{\phi_t} \right)^2 \cdot \left(\frac{v^2}{g \cdot R} - i_t^2 \right)} \right)} dv$$

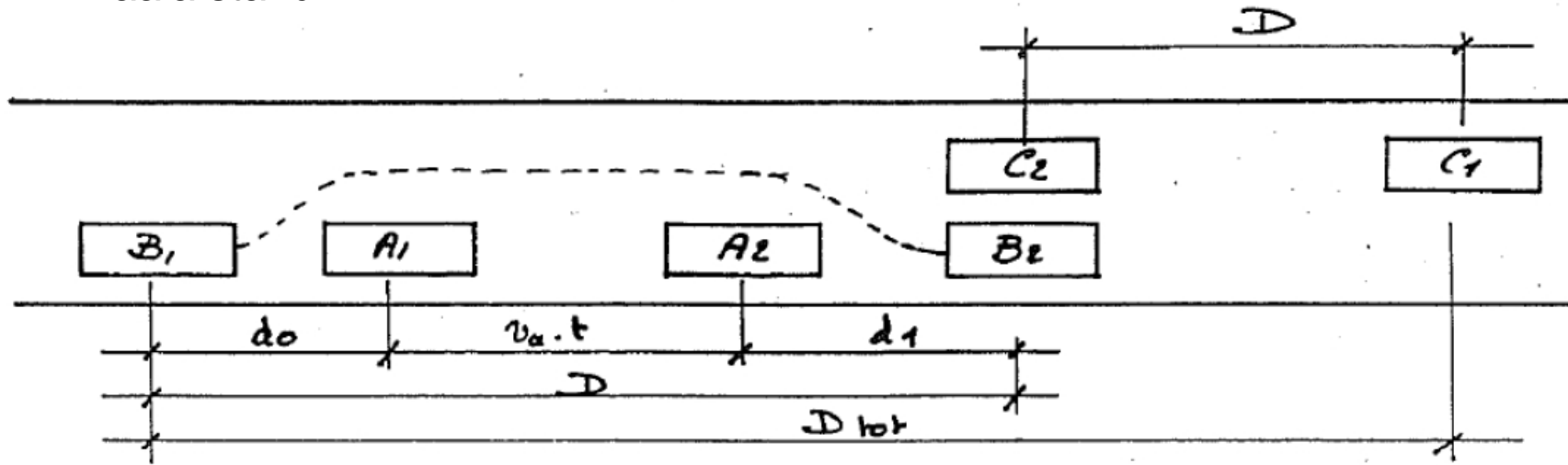
- Enkele voorbeelden:
 - 50 km/h
 - $L_{rechte\ lijn} = 30,59m;$
 - $L_{bocht} = 35,71m;$
 - 120 km/h
 - $L_{rechte\ lijn} = 228,70m;$
 - $L_{bocht} = 272,65m;$
- 17-19% langer dan in rechte lijn

- Remmen op de motor

$$\gamma_t = \gamma_0 \cdot e^{-\frac{t}{\alpha}}$$



- Inhaalafstand

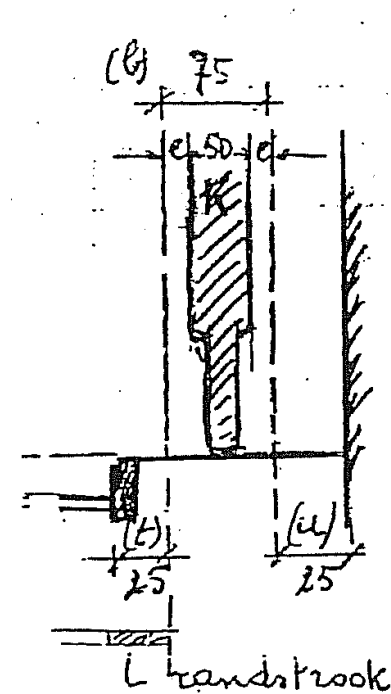
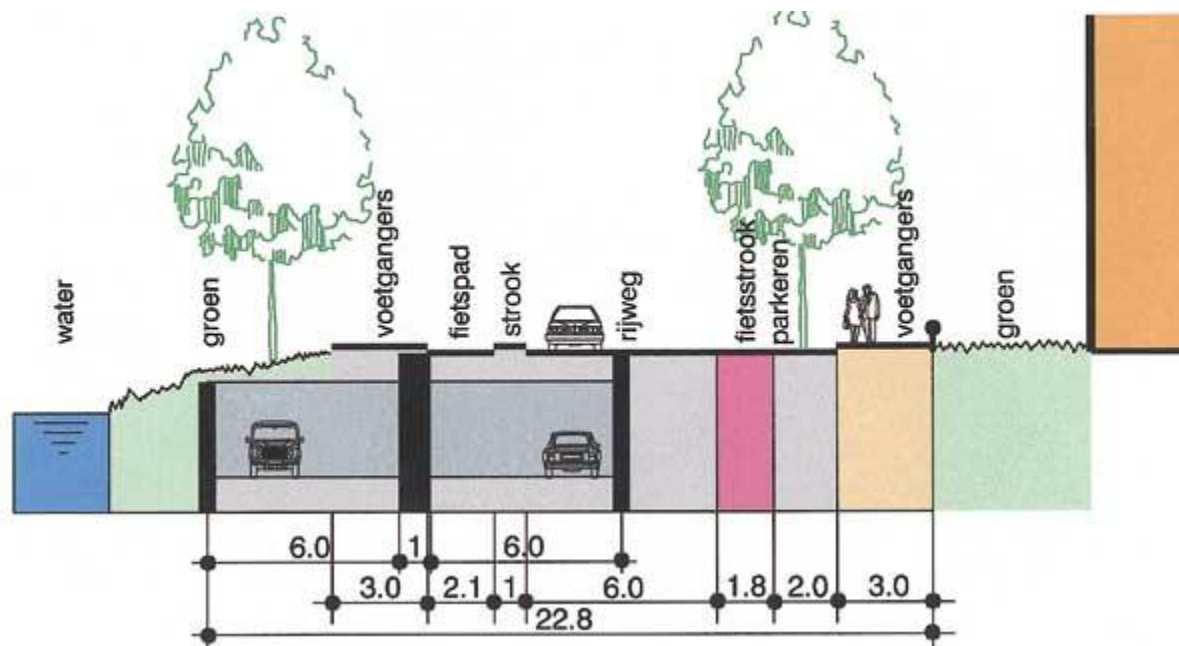


$$D = d_0 + v_a \cdot t + d_1 = v_b \cdot t$$

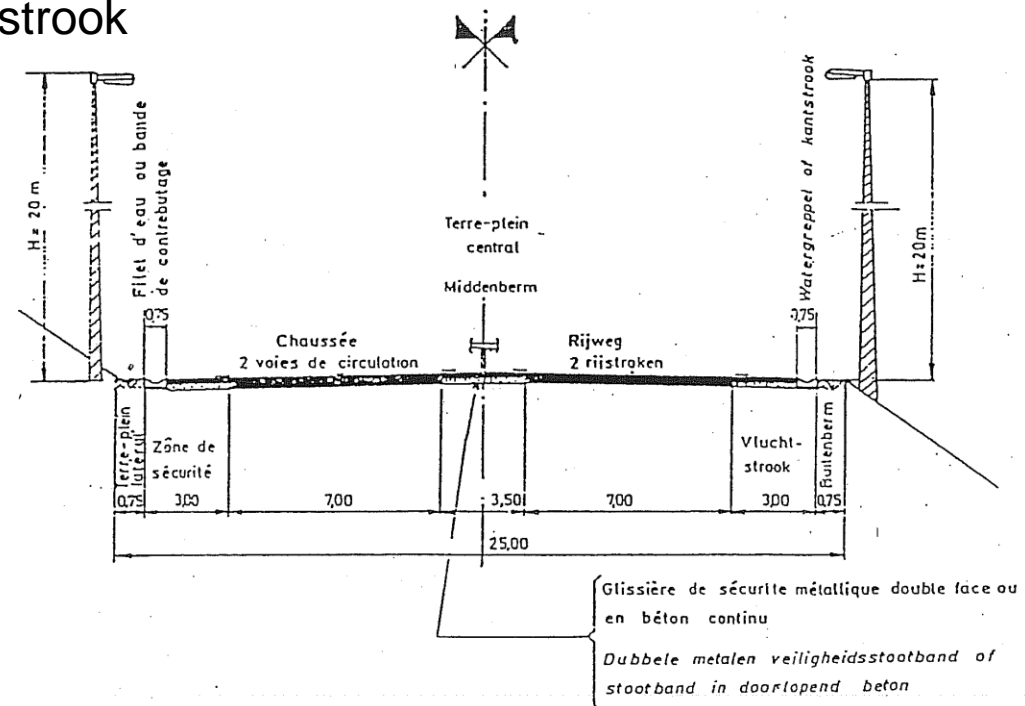
$$D = D + D' = v_b \cdot \frac{d_0 + d_1}{v_b - v_a} + v_c \cdot \frac{d_0 + d_1}{v_b - v_a} = 2 \cdot d \cdot \frac{v_b + v_c}{v_b - v_a}$$

v_b	$v_b - v_a$		
	10	15	20
60	216	144	108
80	352	234	176
100	520	352	216

Dwarsprofiel



- Autosnelwegen:
 - Snelheid 70-120 km/h
 - Platform 25-30 m
 - Normale rijstrook 3.5 m
 - Vluchtstrook 3 m, incl kantstrook



Normale sectie met 2x2 rijstroken

- Verkanting:

$$\left| \frac{v^2}{g.R} - i_t \right| \leq \frac{\phi_t}{\phi_l} \sqrt{\phi_l^2 - \frac{1}{n^2} \cdot \left(i_l + \frac{\gamma}{g} + \rho \right)^2}$$

- Stel: fractie adhesie reserveren als veiligheid

$$\frac{\gamma_d}{g} = q \cdot \phi_l$$

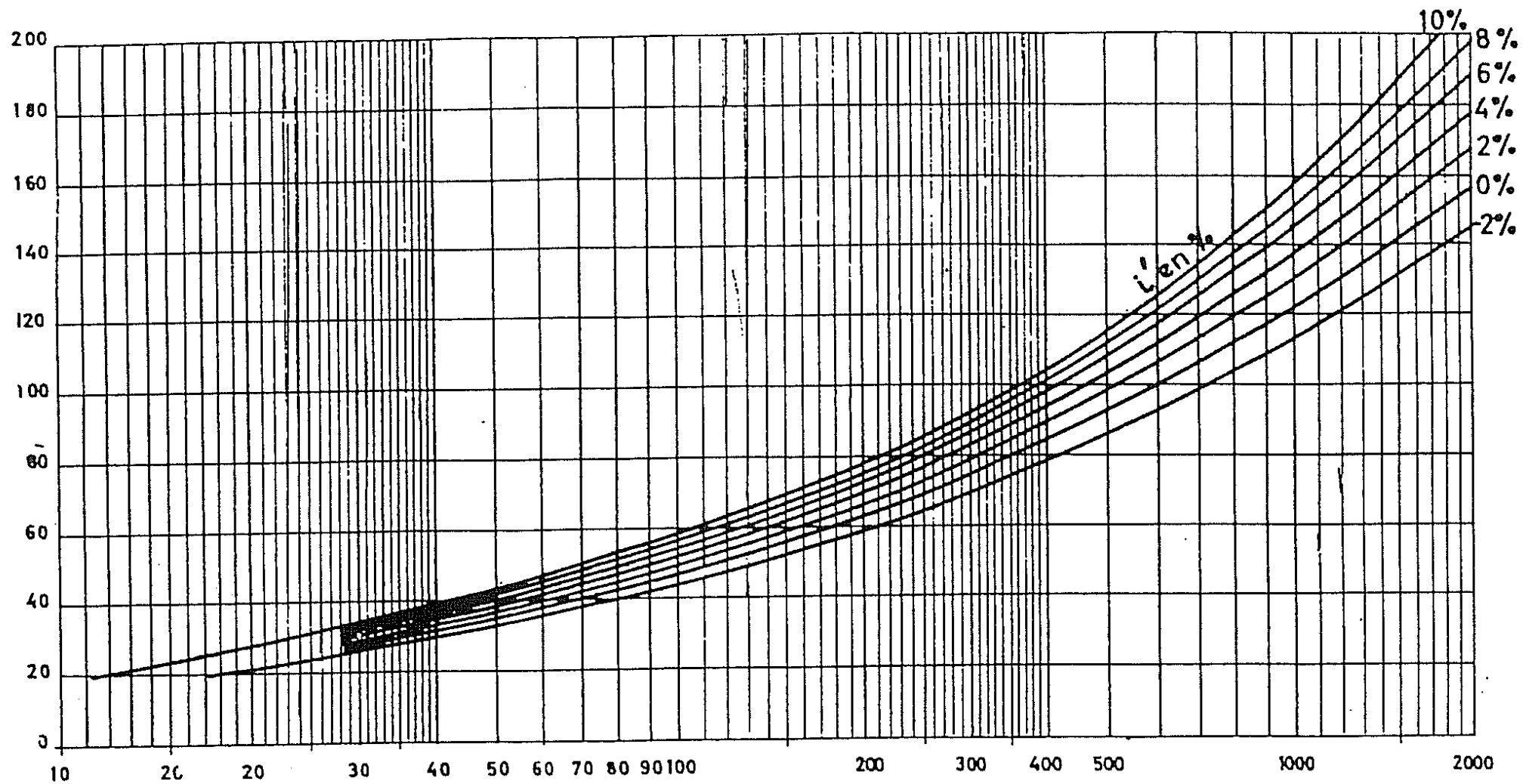
$$R = \frac{v^2}{g \cdot \left(i_t + (\phi_t / \phi_l) \sqrt{(3/4) \cdot \phi_l^2 + 2 \cdot i_l \cdot \phi_l - i_l^2} \right)}$$

- Remafstanden groter (17-19%)
- Langshelling en stroefheid liggen vast

$$i_t = cte. \frac{v^2}{g.R}$$



Dwarsprofiel



- Beperkte invloed op toelaatbare snelheid: (R= 500m)
 - $i=0\%$ $v=93\text{km/h}$
 - $i=6\%$ $v=110\text{km/h}$
- Beter gewichtsverdeling
- Veilig gevoel
 - Nederland: 6,5%
 - Engeland: 7%
 - België: 8%
 - Frankrijk: 10%
- Kantelen/afglijden ?

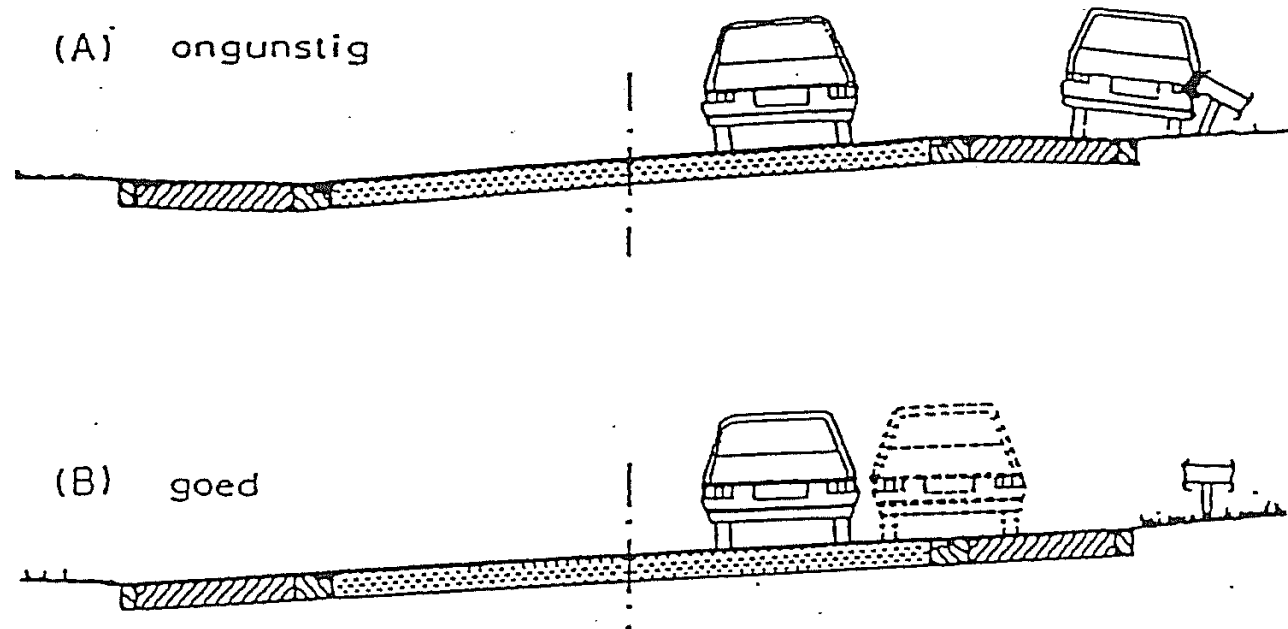
Snelheid v km/h	$i_{l,max}$ %	$i_{t,max}$ %
120	4	3
100	5	4
80	6	5
60	8	6
40	10	8

- Resulterende verkanting:

$$i_r = \sqrt{i_l^2 + i_t^2}$$

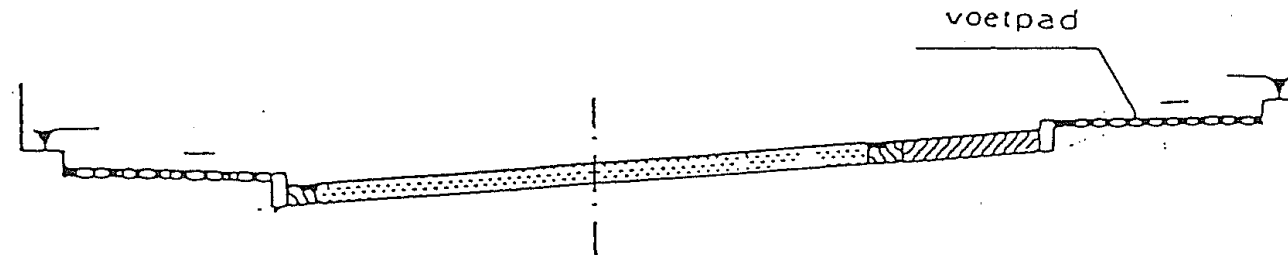
- Minimum 1%
- Dus, ook in rechte lijn een verkanting
- Van 1% naar 2,5%
- Dakprofiel
- Lessenaarsprofiel
- Wentelingsas

- 4 rijstroken
- Toegevoegde rijstroken



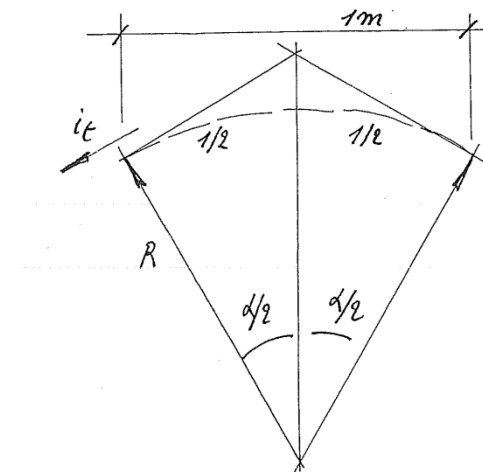
Realisatie verkanting

- Drempels en voetpaden



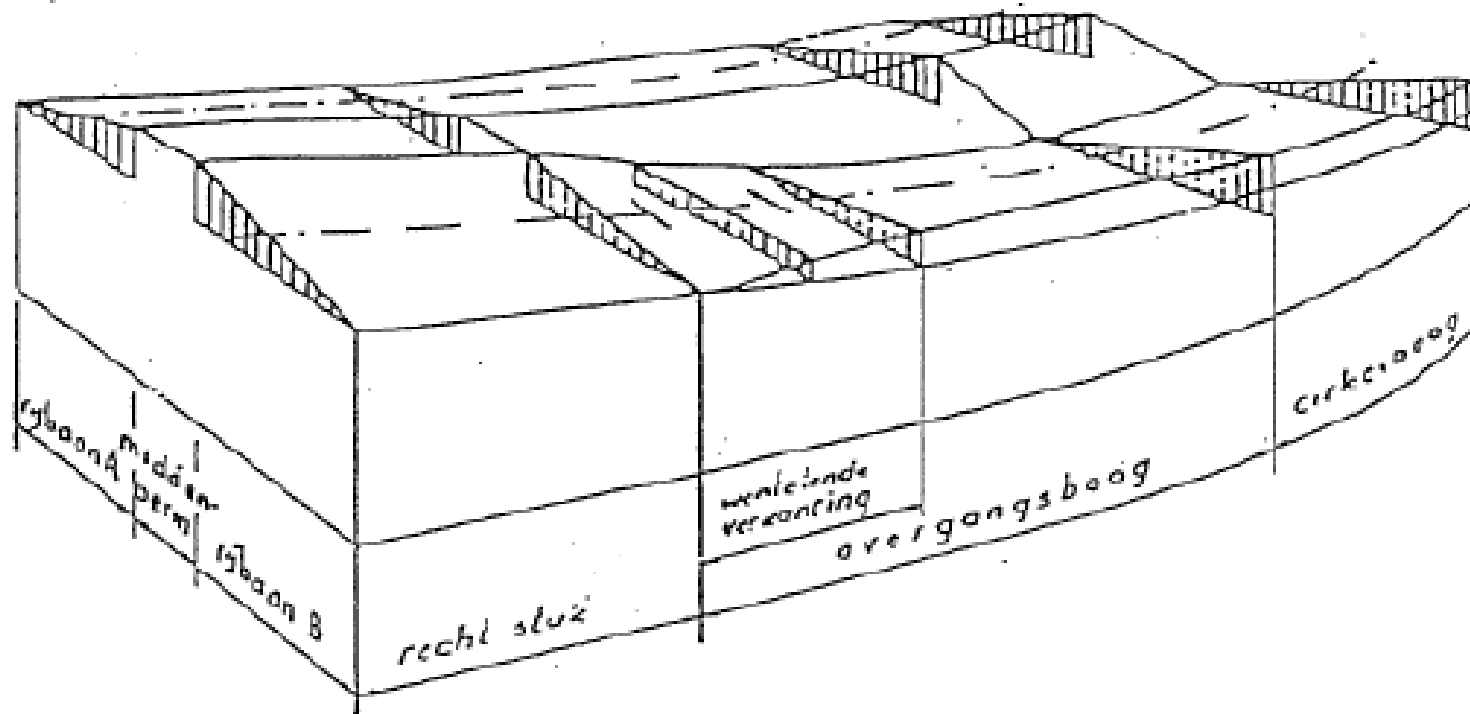
- Afronding

$$\frac{1}{2} = R \cdot \tan \frac{\alpha}{2} = R \cdot i_t$$



Wentelende verkanting

- Om langsas (1 of 2)
- Goede afwatering & veiligheid



Wentelende verkanting

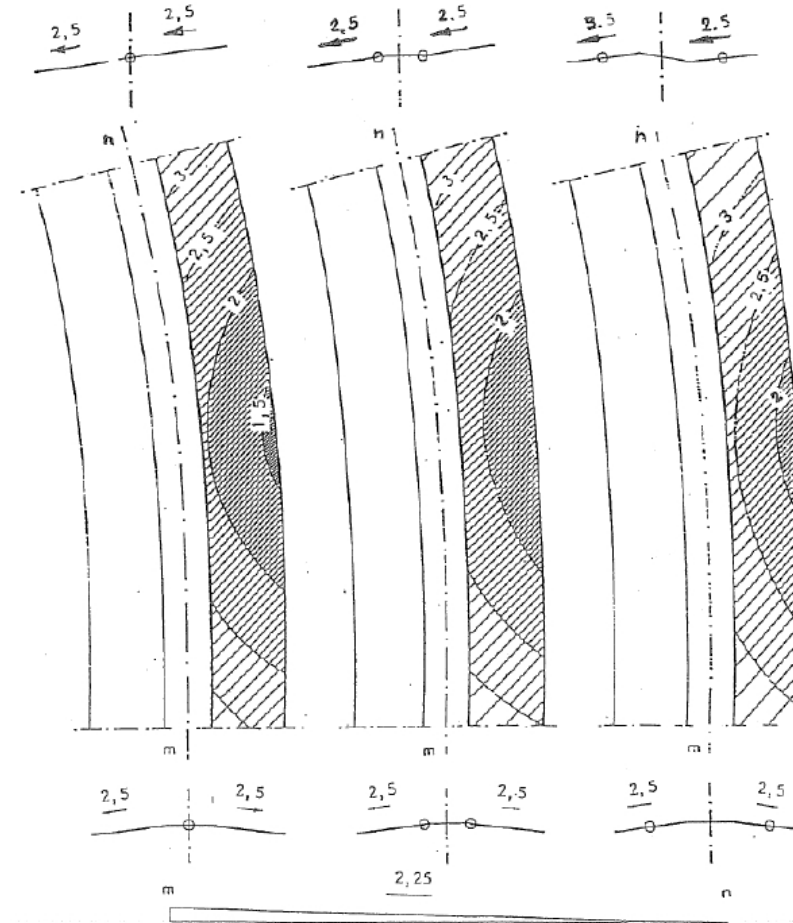
- Keuze wentelingsas
- Binnenzijde

$$\Delta s_1 = \frac{i_{t,c} - i_{t,min}}{L_1} \cdot a$$

- Buitenzijde: 2 zones

$$L_2 = \frac{2 \cdot i_{t,min}}{\Delta s_2} \cdot a$$

	$V_0 \text{ (km/h)}$		
	40	60	≥ 80
Δs_{max}	1,5	1,0	0,5
Δs_{min}	$0,1 \cdot a \text{ } (\leq \Delta s_{max})$		



Legende:

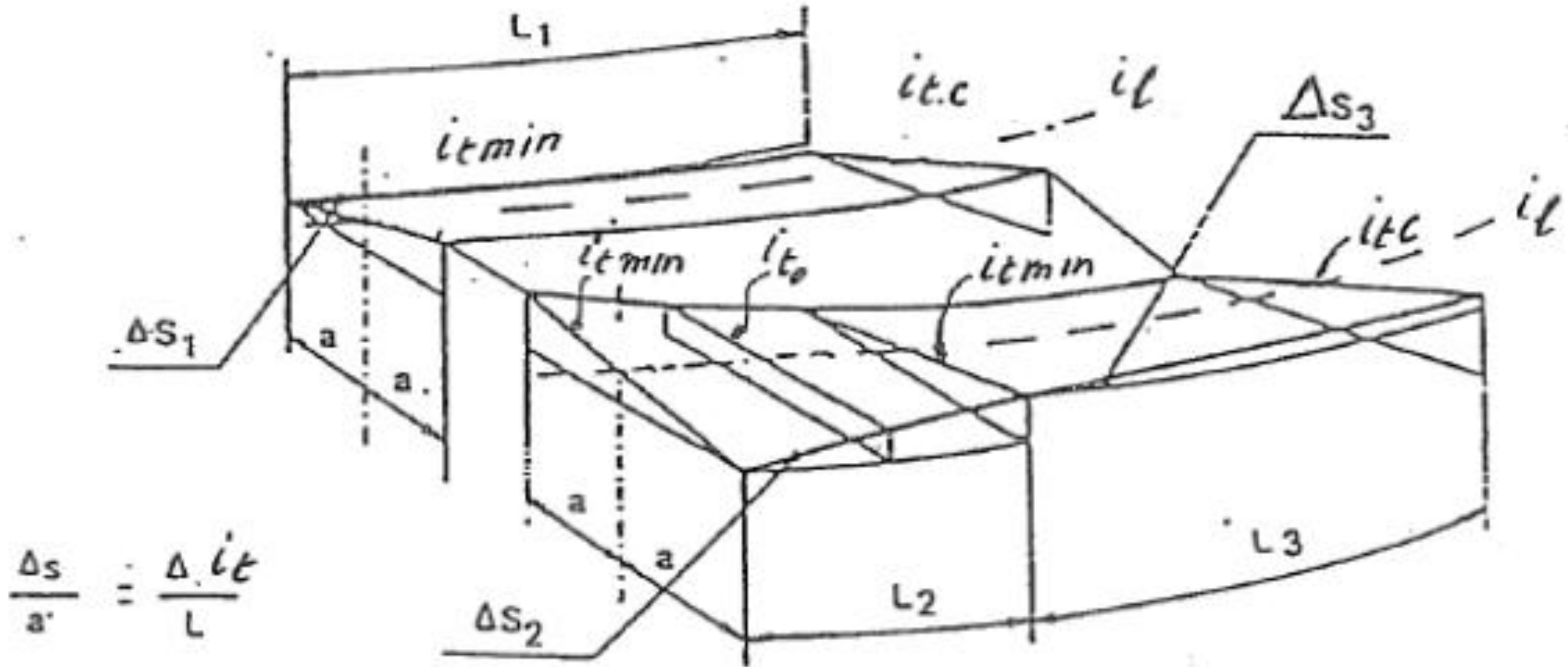
— as van de weg (twee rijbanen)

— ligging van de wentelingsas

gelijke gradiënten op de rijbaan met wentelende verkanting [%]

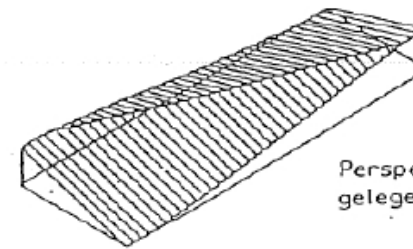
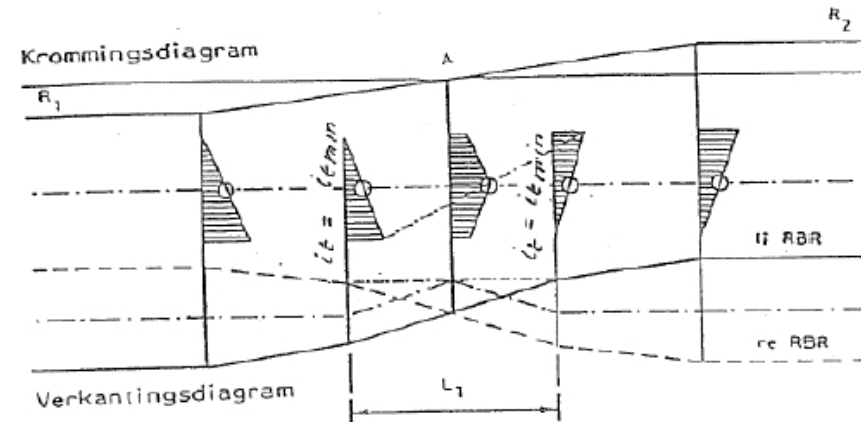
1 < < 1,5 < < 2 < < 2,5 < < 3 <

Wentelende verkanting



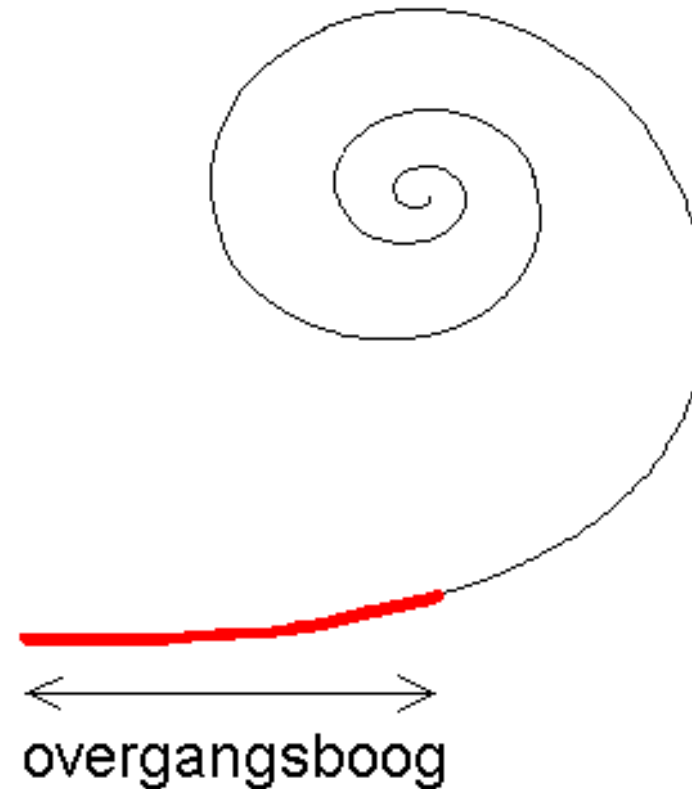
Wentelende verkanting

- Bij brede wegen, afwatering afzwakken
- Toegevoegde rijstroken, zelfde lengte, geen voorwaarden
- 1 rijbaan: zelfde voorwaarden
- Steeds langshelling in bochten !
- Afronding

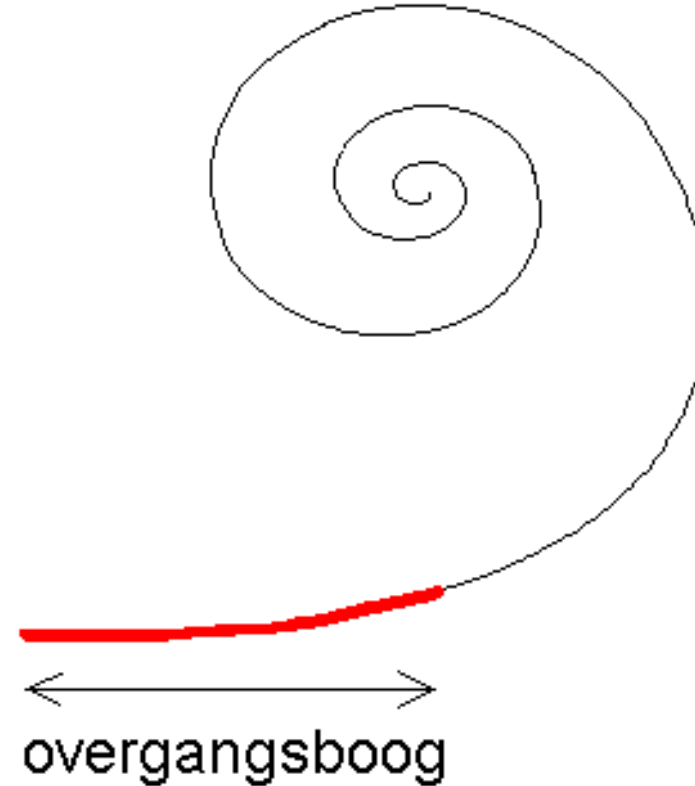


Perspectief van de schuin
gelegen kruin

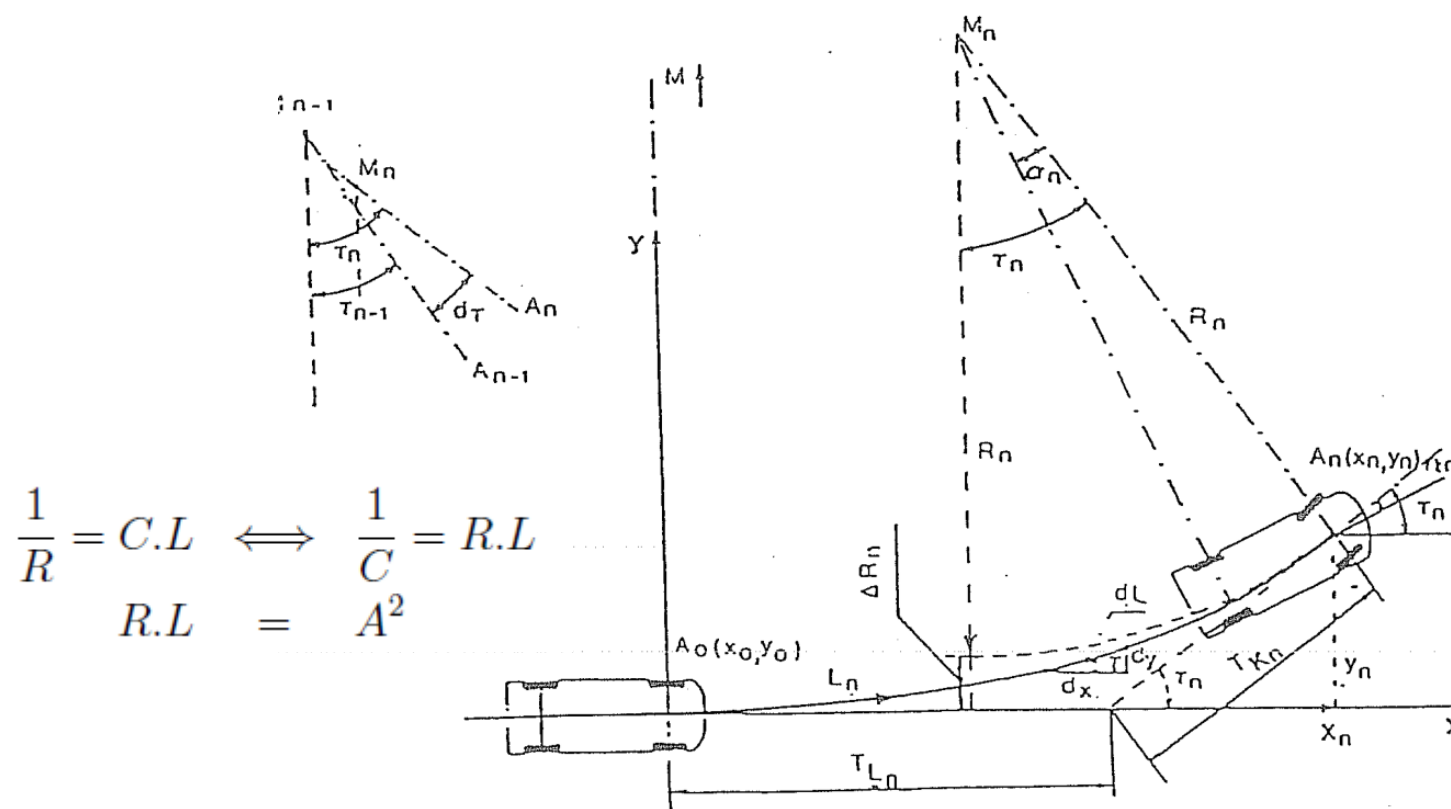
- Wanneer men de stuurhoek van een auto met een constante snelheid verandert, dan kan men aannemen dat ook de instelhoek van de wielen met een constante snelheid wordt gewijzigd. De verandering van de stuurhoek kan gebeuren bij:
 - constante snelheid: In dat geval is de instelhoek van de wielen of met andere woorden de kromming van de gevolgde weg een lineaire functie van de afgelegde afstand L . Men spreekt dan van een "clothoïde" of een spiraal van Cornu;

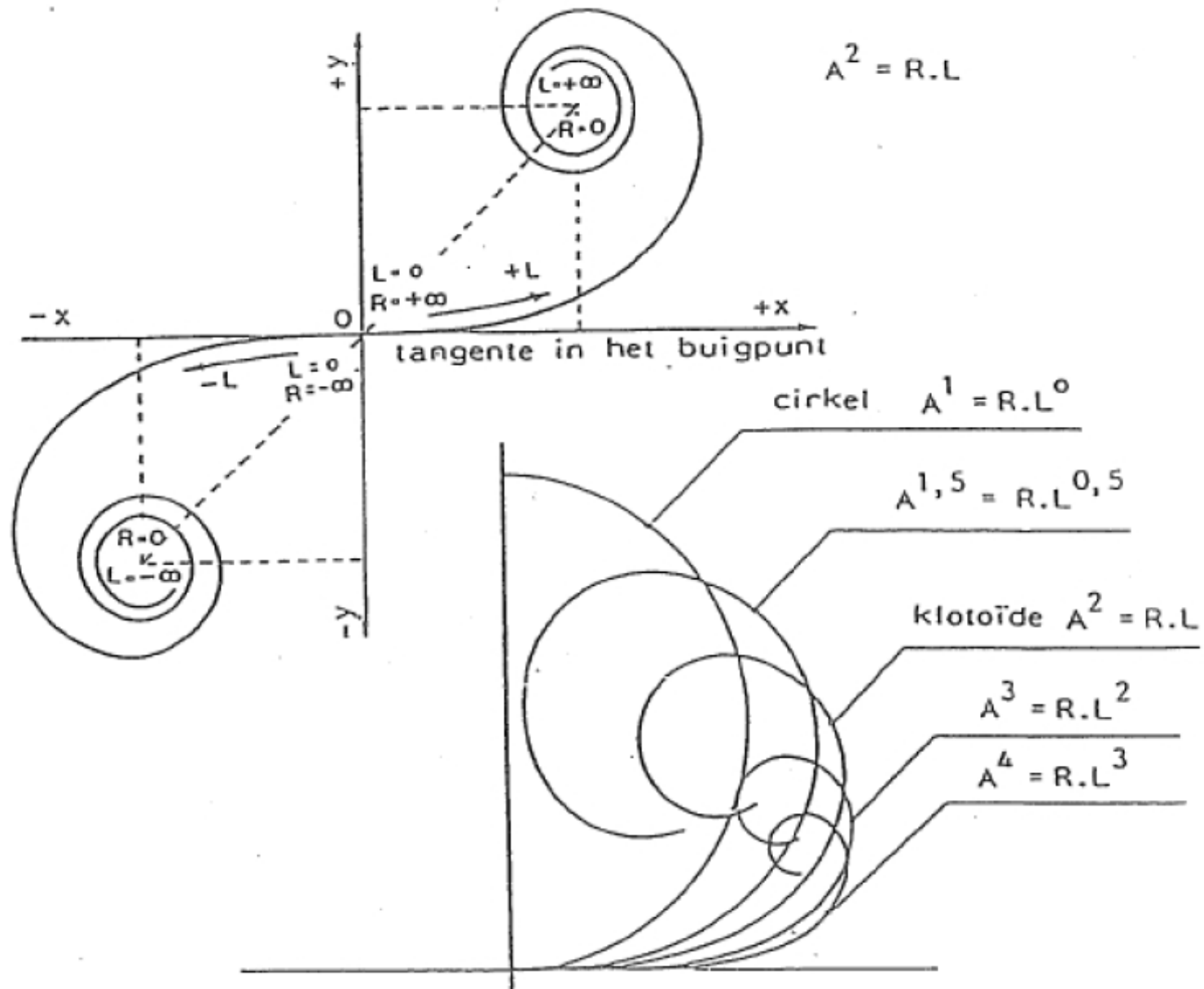


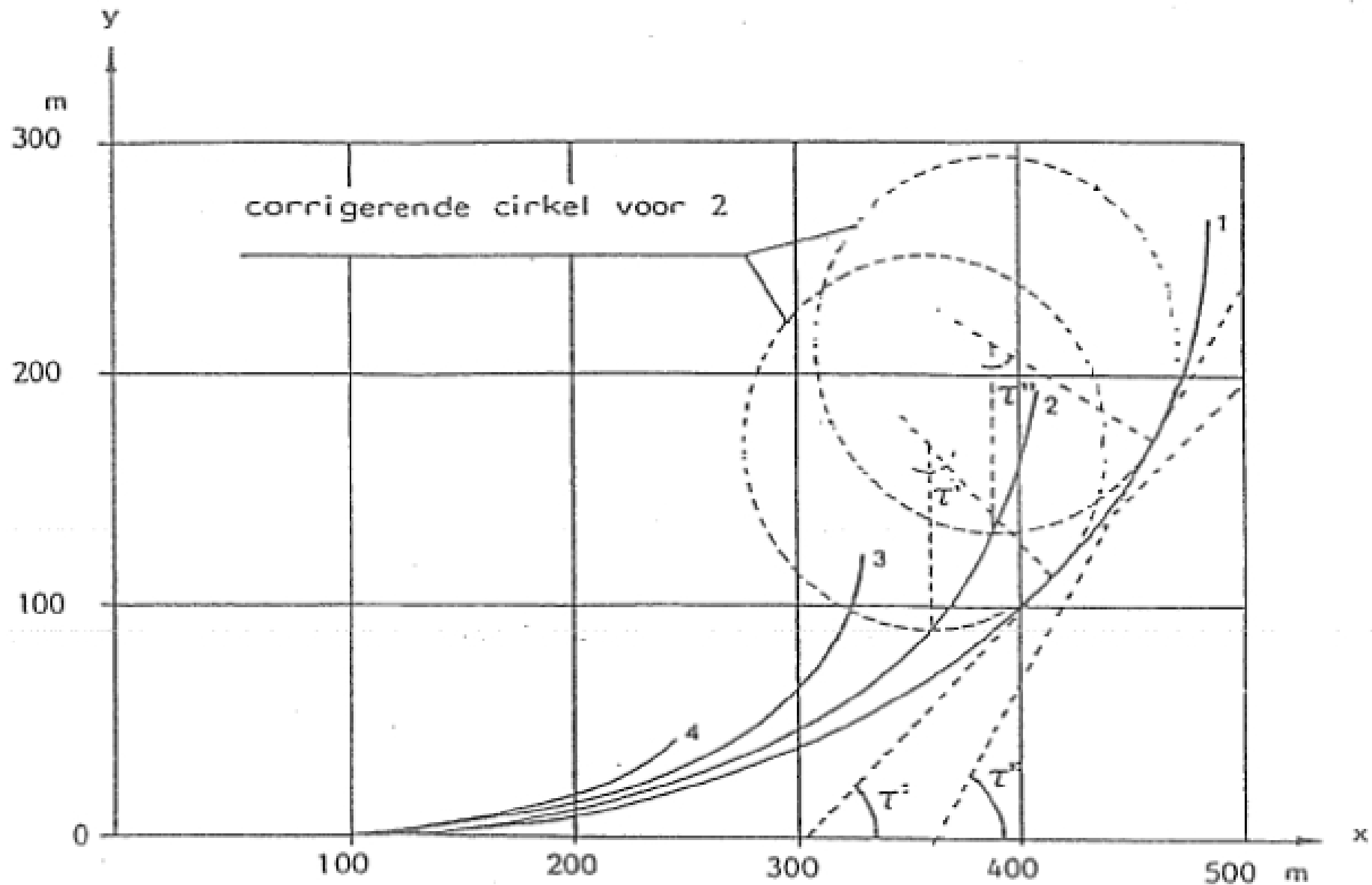
- een veranderlijke snelheid: Dit kan gebeuren op plaatsen waar bijvoorbeeld afgeremd moet worden tijdens het afslaan. In dat geval heeft men te maken met een "samengedrukte clothoïde"
- In de periode voor het gebruik van computertekenprogramma's werden dergelijk krommen meestal getekend met tekenmallen of vereenvoudigd tot parabolen.



De coördinaten van een gewone clothoïde kunnen bepaald worden in het assenstelsel getoond in figuur 5.2. Hierin is A_0 de oorsprong en loopt de x-as volgens de rijrichting in het punt A_0 . De y-as vertrekt loodrecht vanuit de oorsprong en is gericht naar de bocht toe. Tussen A_0 en A_n wordt een afstand L afgelegd. De op die afstand gerealiseerde hoekverandering is τ_n .

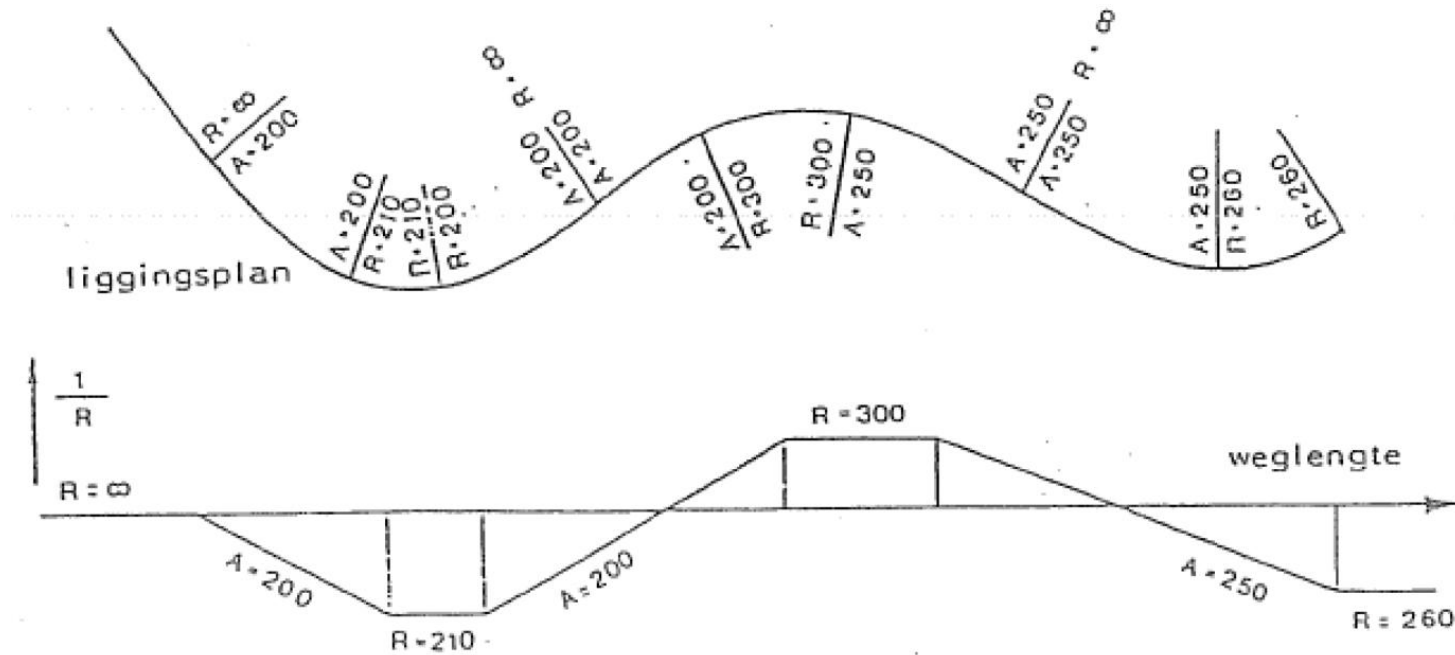






		1	2	3	4
Beginsnelheid	km/h	100	100	100	100
Clothoïdeparameter	m	350	350	350	350
Vertraging a	m/s^2	0,0	0,5	1,0	1,5
Corrigerende straal	m	0	79	159	238
Eindsnelheid	km/h	100	60	19	0,6
Eindtijd	s	22,4	22,4	22,4	18,4
Afgelegde weg	m	622	497	371	257
Bereikte straal	m	197	117	38	1,5

- Krommingsdiagram



- Soorten:
 - een gewone overgangsboog: de klassieke clothoïde als overgang van een rechte naar een cirkelboog;
 - een korfclothoïde: een boog die bestaat uit een opeenvolging van twee clothoïden die in hun aansluitingspunt gelijke stralen en een gemeenschappelijke raaklijn hebben;
 - een verbindingsboog: een boog die bestaat uit een opeenvolging van clothoïde-cirkelboog-clothoïde en de overgang vormt tussen twee rechte stukken met verschillende richting;
 - een kruinboog: een verbindingsboog waarbij de booglengte van de tussenliggende cirkelboog gelijk is aan nul;
 - een gewone S-boog: een boog bestaande uit twee aansluitende clothoïden met gemeenschappelijke parameter en raaklijn doch tegengestelde richting;
 - een S-boog met twee parameters;

- Soorten:
 - een varenboog: een S-boog tussen twee cirkelbogen met sterk verschillende straal;
 - een ei-lijn: de specifieke overgang tussen twee cirkelbogen waarbij de kleinste cirkelboog volledig binnen de grootste gelegen is;
 - een dubbele ei-lijn met omhullende cirkelboog: de verbinding tussen twee naast elkaar gelegen cirkelbogen, wordt gemaakt door twee gelijkgericht clothoïden met daartussen een deeltje van een beide cirkelbogen omhullende cirkel;
 - een C-boog: een variant op het vorige geval waarbij de straal van de omhullende cirkel 1 oneindig is;
 - een onvolledige clothoïde: nog een speciaal geval waarbij de omhullende cirkel booglengte nul heeft en de beide clothoïden een gemeenschappelijke straal in hun aansluitingspunt.

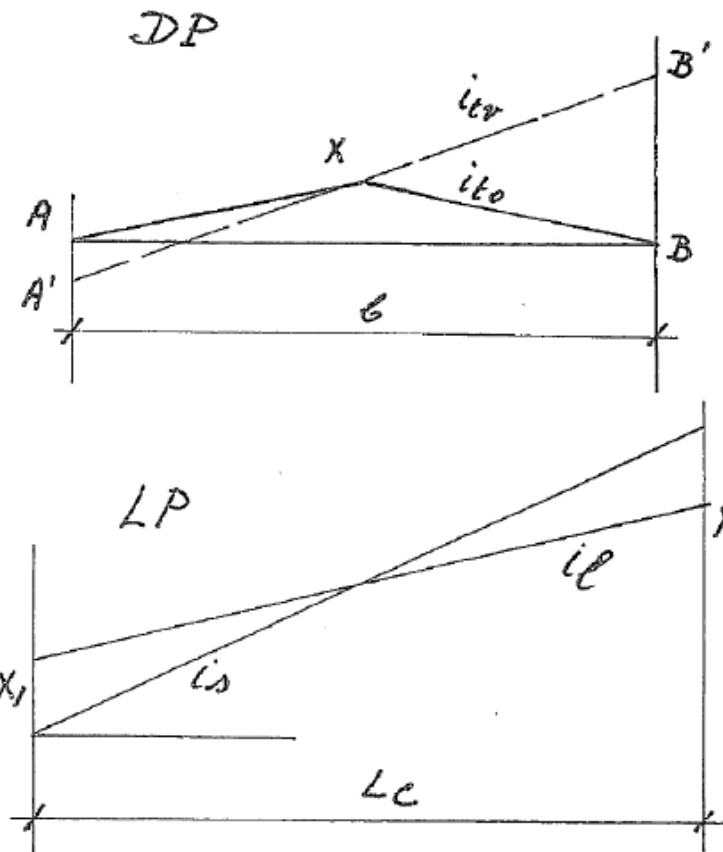
Lengte overgangsboog

- Stabiliteit: De overgang van dakprofiel naar een zekere verkanting gebeurt geleidelijk. Er is met andere woorden steeds een beperking van de supplementaire langshelling om de stabiliteit van de voertuigen ten opzicht van slippen en kantelen te behouden.

- Rijwegas

$$BB' = \frac{b}{2} \cdot (i_{t0} + i_{tv}) = L_c \cdot \Delta s$$

$$L_c \geq 50 \cdot b \cdot (i_{t0} + i_{tv})$$

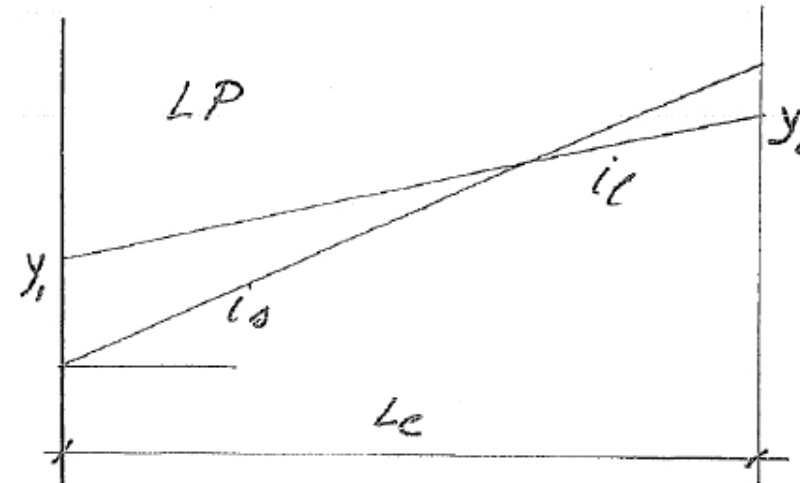
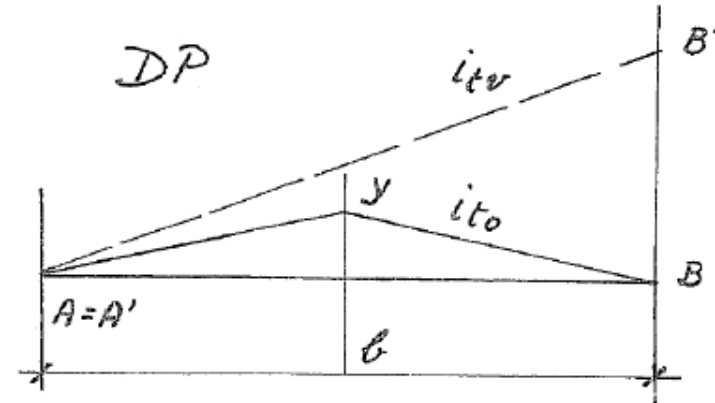


Lengte overgangsboog

- Stabiliteit:
 - Rijwegrand

$$BB' = b \cdot i_{tv} = L_c \cdot \Delta s$$

$$L_c \geq 100 \cdot b \cdot i_{tv}$$



- Comfort: Een van de hoofdredenen van het voorzien van de overgangsboog is dat een geleidelijke overgang gerealiseerd wordt van de centrifugaalkracht in de bocht.

- Centrifugaalkracht
$$F_c = \frac{G}{g} \cdot \frac{v^2}{R}$$

- Dwarsruk:
$$\frac{v^2/R}{L_c/v} = \frac{v^3}{R \cdot L_c} = k$$

- Er kan een algemene comfortgrens vastgelegd worden op:

$$k < 0,6 \text{ m/s}^3;$$

- In een bocht zonder verkanting kan, mits enige veiligheid en aangenomen dat men een beperkte ruk als waarschuwing gebruikt volgende eis gelden: $0.3 - 0.5 \text{ m/s}^3$

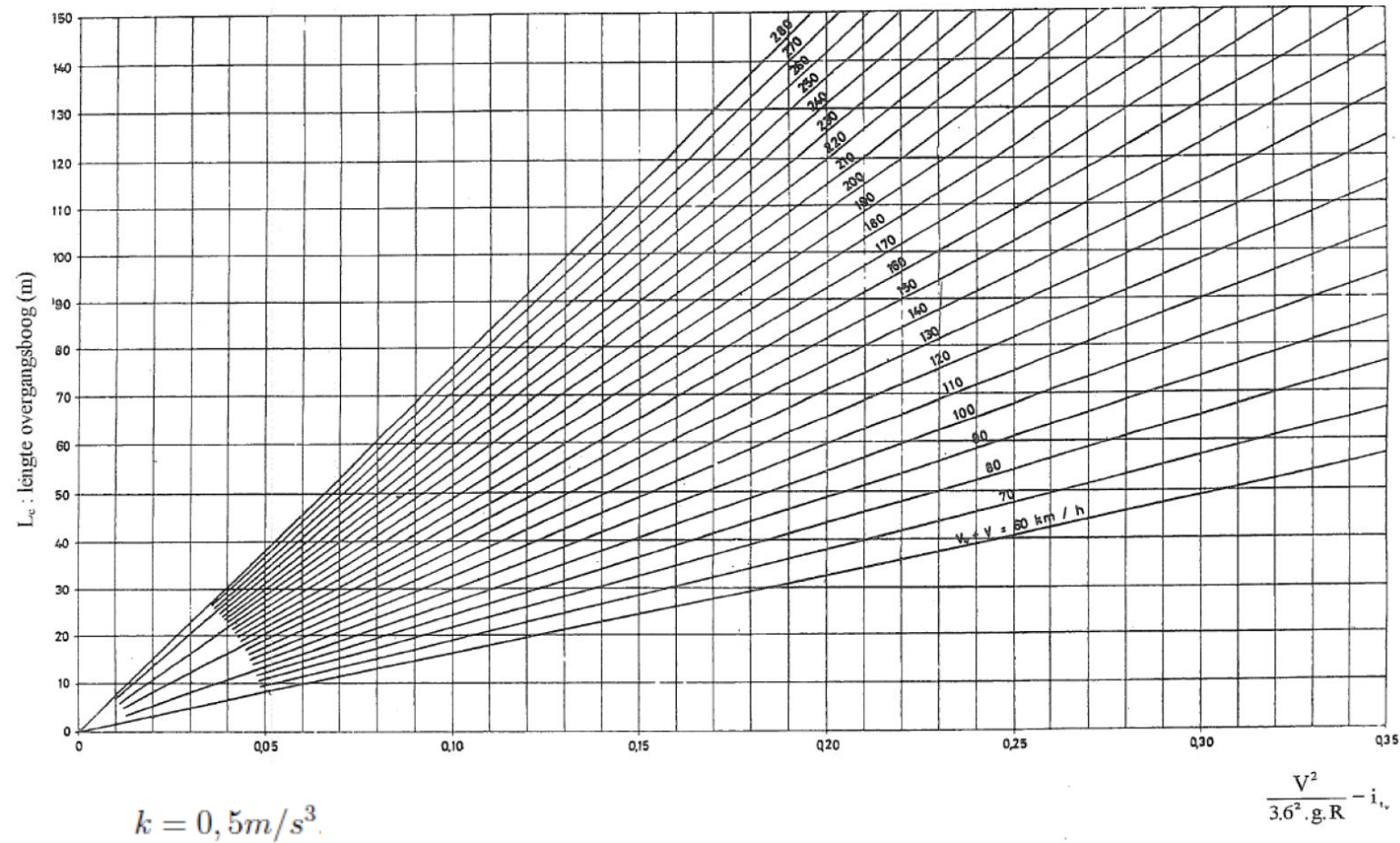
- Comfort:
 - Dwarsruk
 - Het is echter correcter van de dwarsruk afhankelijk te veronderstellen van de snelheid. Als de snelheid toeneemt zal immers de veilige grootte van de dwarsruk afnemen.

$$k = \frac{3}{\sqrt{v}}$$

- Bij wijzigende snelheid:

$$L_c \geq \frac{v_m}{k} \cdot g \cdot \left(\frac{v^2}{g \cdot R} - i_{tv} \right)$$

- Comfort



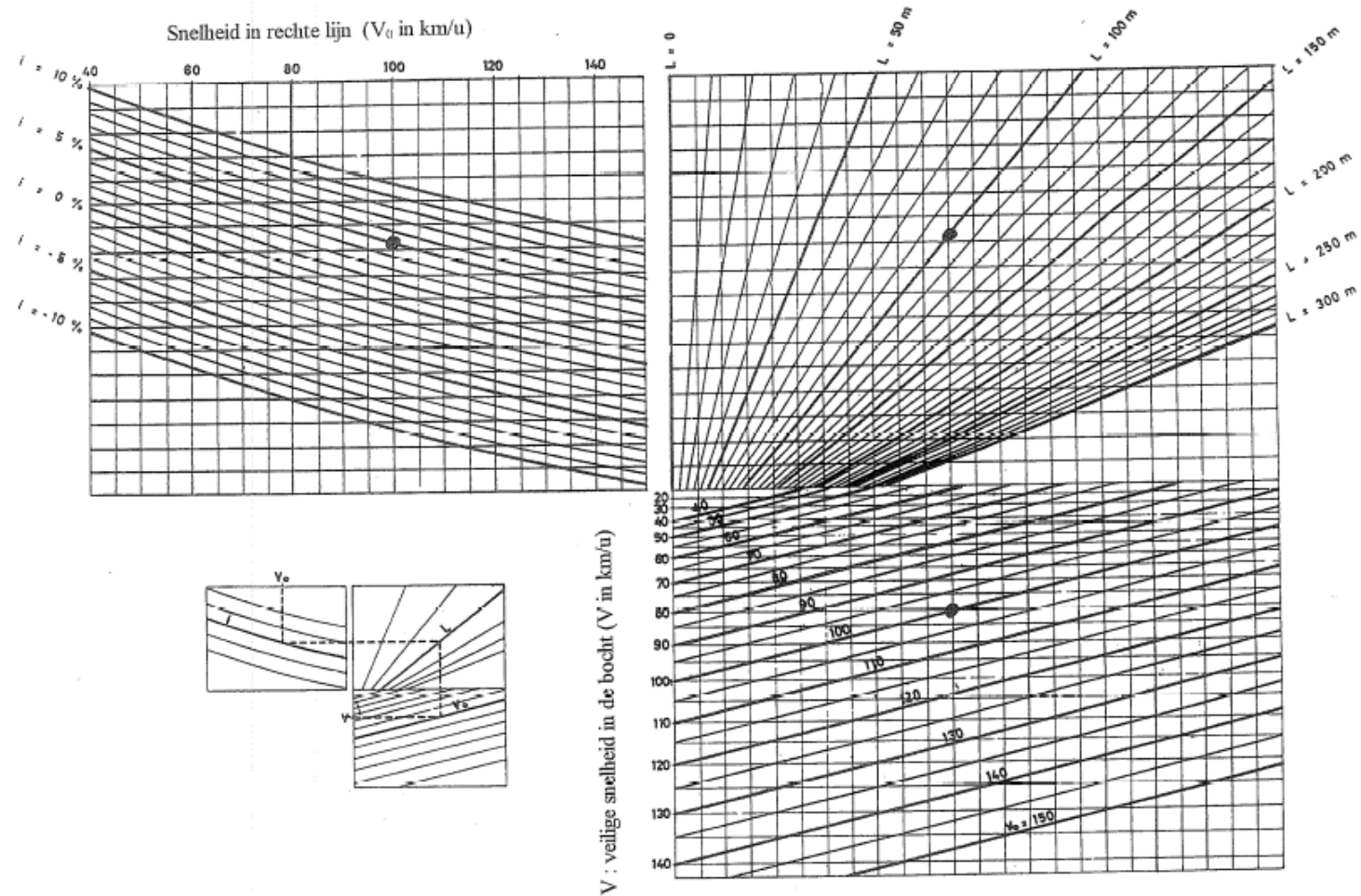
Lengte overgangsboog

- Veiligheid : De snelheid in de boog dient bovendien steeds beperkt te blijven tot een veilige waarde.

$$L_c \geq \frac{v_0^2 - v^2}{g \cdot (i_l + \phi_{l,v_0})}$$

Lengte overgangsboog

- Veiligheid



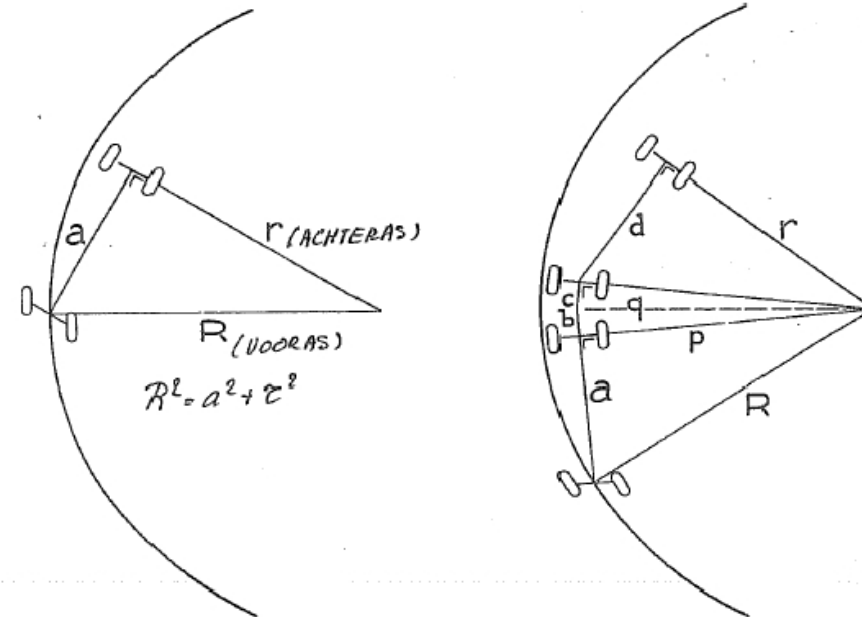
- In een bocht neemt een wagen, zoals eerder reeds gesteld, een grotere breedte in dan in rechte lijn omdat de achterwielen een andere baan beschrijven dan de voorwielen. Dit is evenredig met de asafstand en dus ook met de lengte van het voertuig. In België is de maximale asafstand 8m. De maximumlengte van een voertuig bestaande uit twee assen is hiermee 12m en van een sleep bestaande uit twee wagen 22m.

- Eenvoudig voertuig

$$s = \frac{64}{R + \sqrt{R^2 - 64}}$$

- Aanhangwagen

$$s = R - r = \frac{100}{R + \sqrt{R^2 - 100}}$$



- de overbreedte is te verwaarlozen als de straal groter is dan 300m;
- als de bochtstraal groter is dan 50m, dan is benaderend per rijstrook:

$$s \cong \frac{100}{2.R} \cong \frac{50}{R}$$

- voorzichtigheidshalve wordt in de bochten een overbreedte voorzien om het kruisen van twee wagens te vergemakkelijken. Empirisch kan hiervoor een waarde van $10=R$ genomen worden;
- op kruispunten wordt de overbreedte langsheen verkeersgeleider berekend zonder bijkomende verbreding voor kruisend verkeer wegens de lage snelheid

- De verbreding kan worden aangebracht aan de binnen- of buitenzijde van de weg:
 - aan de binnenzijde heeft het voordeel dat tegemoetgekomen wordt aan de wil om de bocht af te snijden. Daarentegen vermindert de zichtbaarheid en neemt de bochtstraal van de wegrand verder af;
 - aan de buitenzijde is eigenlijk het best, doch omwille van de beperking van het grondwerk wordt soms voor een symmetrische overbreedte gekozen. Bij bochtstralen kleiner dan 20m dient de overbreedte steeds aan de buitenzijde genomen te worden omwille van de manoeuvreerbaarheid;
 - de verbreding moet volledig beschikbaar zijn in de bocht. De verbreding moet dus aangebracht worden, uitgespreid over de gehele lengte van de overgangsboog.

- Kruisend verkeer:
- De verbreding van alle rijstroken samen voor het kruisend verkeer kan volgens AASHO berekend worden op basis van volgende empirische formule, waarin de snelheid gegeven wordt in km/h en de bochtstraal in m. Hierbij wordt aangenomen dat bij een hogere snelheid de voertuigen minder nauwkeurig de rijbaanas kunnen volgen.

$$s_k = \frac{v}{10 \cdot \sqrt{R}}$$

- Volgens Frans onderzoek kan bovendien gesteld worden dat

$$s_k = \frac{v}{10 \cdot \sqrt{R}} = 0,445m$$

- Afrondend geeft dit voor de totale bochtverbreding:

$$s_{tot} = 0,50 + n \cdot \left(\frac{100}{R + \sqrt{R^2 - a^2}} \right)$$

- Bij cementbetonverhardingen wordt vaak gewerkt met een constante rijbaanbreedte. Hier verdient het dan aanbeveling om de rijstrookbreedte voldoende breed te kiezen, zodat bochtverbredingen vermeden worden;
- In bergwegen wordt vaak gewerkt met haarspeldbochten, die gebruik maken van een heel kleine bochtstraal, zodat bochtverbredingen noodzakelijk zijn. Bij sterke helling geeft een rechte route een te grote langshelling. In die situaties wordt de weg kunstmatig langer gemaakt door een zigzag traject te gebruiken waarbij de langshelling beperkt blijft.
- Tussen de rechte stukken worden dan korte haarspeldbochten voorzien. De keercirkel van de bocht wordt met dubbele clothoïden aan de rechte delen verbonden. Bij een dergelijke oplossing zijn vele dwarsprofielen noodzakelijk om de wijziging van de resulterende helling van beide rijbaanranden op te volgen.

