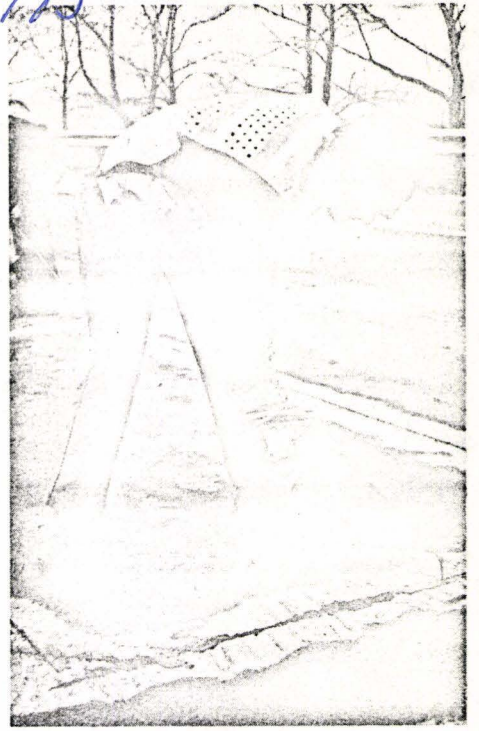


E 330

• nadere beschrijving van de RWS/DVK standaard-detectielus  
aanbeveling om te streven naar betere detectoren, geen veranderingen aanbrengen in de lusconfiguratie



# Geometrie van lusconfiguraties voor snelheidsmetingen

Ir. J. D. van Zijverden  
Technisch Fysische Dienst TNO-TH  
R. C. van der Voort  
Rijkswaterstaat Dienst Verkeerskunde

## Inleiding

In een vorig artikel (Verkeerskunde 4/79 bladzijde 156 en verder) werden de foutenbronnen bij snelheidsmetingen met detectorlussen als volgt ingedeeld:

- I fouten in de lusgeometrie ('geometriefouten')
  - II fouten ten gevolge van ongelijke voertuigpassage ('rijfouten')
  - III fouten ten gevolge van onvolkomenheden in de detector ('detectorfouten')
- De geometriefouten werden aldaar klein verondersteld ( $\ll 1\%$ ), wat door de uitermate zorgvuldige procedure bij het leggen (zie Verkeerskunde 6/79 bladzijde 268 en verder) alleszins gerechtvaardigd lijkt. Ten aanzien van de foutenbronnen II en III kan men zich afvragen of er nog iets te winnen valt door de lusgeometrie te wijzigen. Uit het navolgende zal echter blijken dat dit nauwelijks de moeite waard is. Verbeteringen van enige omvang zijn alleen mogelijk door betere detectoren te ontwikkelen.

## Mogelijkheden

De eerste mogelijkheid tot verandering van de lusconfiguratie is een wijziging in de vorm van de afzonderlijke lussen. Dit heeft tot doel de bepaling van het 'detectie-punt' voor de detector gemakkelijker te maken. Hiertoe moet men zoeken naar configuraties waarbij het verloop van  $\delta L$  als het voertuig de lus passeert, steil is in de buurt van de aanspreekdrempel van de detector. Voor vrijwel alle fouten (ongelijk drempelniveau van de detector van de secundaire en primaire lus, ruis in de detector, ongelijke voertuigpassage, etc.) is dit gunstig zoals afbeelding 1 illustreert voor een fout in het drempelniveau. Een nevenaspect bij

1. Een steil  $\delta L$ -verloop bij de drempel verkleint fouten tengevolge van bijvoorbeeld een verschil in drempelniveau.

wijziging van de lusvorm is de beperking dat een auto met aanhanger steeds als één voertuig moet worden gedetecteerd. De tweede mogelijkheid tot wijziging is het vergroten van de afstand tussen primaire en secundaire lus. Op het eerste gezicht lijkt dit alle fouten te reduceren. Dit is echter niet waar.

De 'detectorfouten' worden weliswaar minder van belang omdat gedeeld wordt door een grotere afstand, maar de 'rijfouten' (scheefrijden, inveren) blijven in eerste benadering gelijk. De kans op 'mislukte metingen' (geen detectie op één van beide lussen en dergelijke) neemt echter toe met de lusafstand. Ook hierbij treedt een nevenaspect op: door de grotere lusafstand neemt ook de onderlinge beïnvloeding van de lussen af, wat gunstig is voor de werking van de detector.

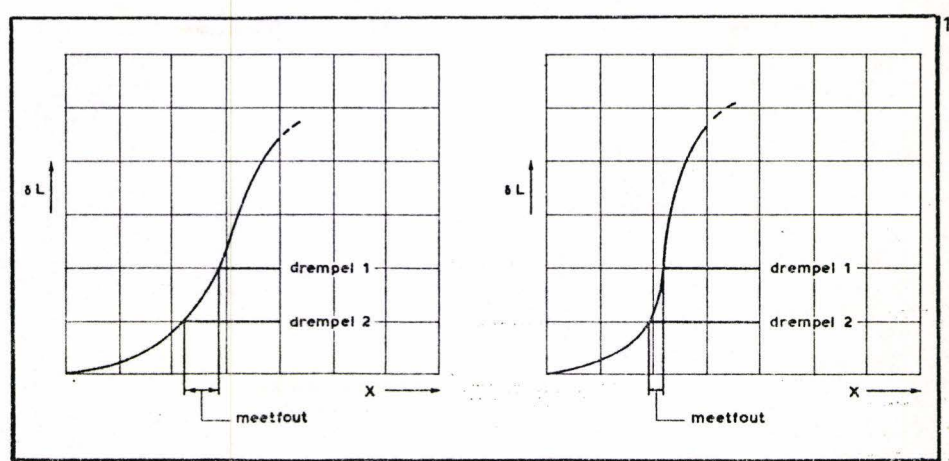
## Andere lusvormen

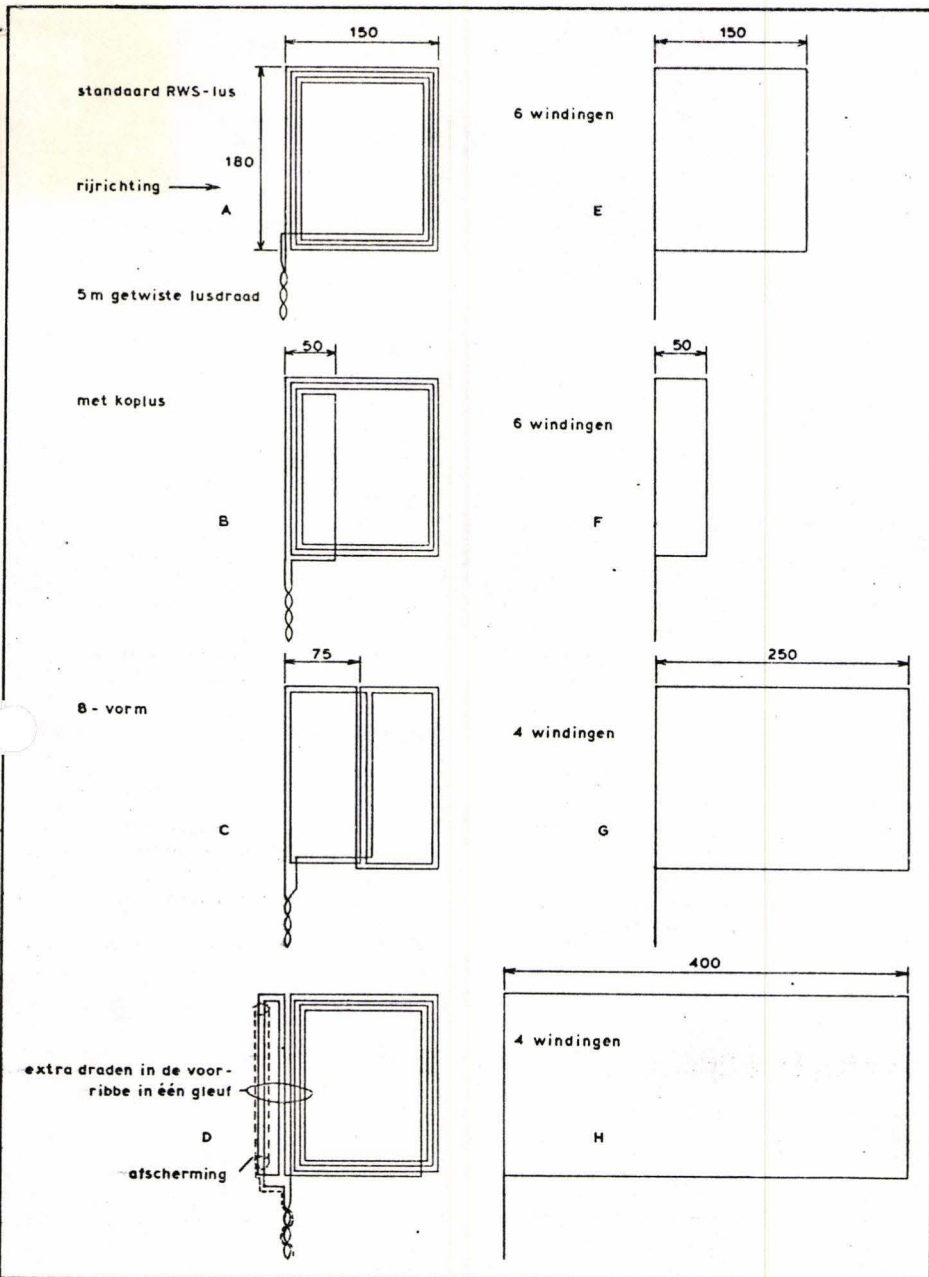
Een groot aantal lusvormen is onderzocht, waarbij de breedte (1,8 m) niet gevarieerd is. De breedte heeft te maken met de kans dat een auto op een meerstrooksweg tussen de lussen door zou slippen (te smalle lus) of op beide rijstroken zou worden gedetecteerd (te brede lus). Hoewel men voor het verminderen van de invloed van rijfouten — met name het scheefrijden — wel een oneindig brede lus zou willen, is de breedte dus geen vrijheidsgraad.

De onderzochte lusconfiguraties zijn geschetst in afbeelding 2. Het  $\delta L$ -verloop bij voertuigpassage over deze lussen is te zien in afbeelding 3 en in meer detail voor het deel rond het drempelniveau (1%  $\delta L$ ) in afbeelding 4. Uit deze figuren blijkt dat er ten opzichte van de standaardlus (A) een marginale winst mogelijk is door:

- meer windingen (E);
  - een lengte van 2,5 meter (G);
  - een exotische vorm met meer windingen aan de kop (D).
- De verschillen zijn echter nauwelijks waarneembaar. Opmerkelijker is dat men wel zichtbaar kan verliezen:
- bij een zeer lange lus (4 meter, H);
  - bij een zeer korte lus (0,5 meter, F), die bovendien een zeer geringe maximum  $\delta L$  vertoont.

Men kan hieruit concluderen dat lussen van 1,5 à 2,5 meter lang vrijwel optimaal zijn, wat betreft de steilheid rond het drempelniveau. Ook aan het reeds genoemde nevenaspect, het kunnen overbruggen van trekhaken, zijn metingen verricht. Met verplaatsbare lussen is de  $\delta L$  van de trekhaken van een aantal vrachtwagencombinaties gemeten. Hieruit kan afgeleid worden dat een detector aan een 1,5 meter lus pas mag afvallen beneden 0,1%  $\delta L$  om met de nodige veiligheidsmarges trekhaken te kunnen overbruggen. Voor een 2 meter lus ligt dit op 0,2%  $\delta L$ . Behalve dat dit nog eens illustreert, dat een detector twee drempels moet kennen om aan





2. Verschillende onderzochte lustypen (maten in cm). Lusdraad is 1,5 mm<sup>2</sup> koper, soepel en PVC-geïsoleerd.

de eisen van zowel een hoge meetnauwkeurigheid als het overbruggen van trekhaken te kunnen voldoen, is duidelijk dat een andere vorm van de RWS-DVK lus alleen op het nevenaspect van trekhaakoverbrugging het de detector iets gemakkelijker kan maken. Bij de huidige stand van detectortechniek speelt dit echter geen rol.

### Lusafstand

Reeds is opgemerkt, dat vergroten van de lusafstand gunstig is voor vermindering van de invloed van „detectorfouten” maar in eerste benadering geen invloed heeft op de „rijfouten”. De detectorfout kan men beschouwen als een meetfout  $\Delta t$  in de rijtijd  $t$  van primaire tot secundaire lus. Bij een lusafstand van de voorribbe van de primaire tot de voorribbe van de secundaire lus  $s$  leidt dit

$$\text{tot een gemeten snelheid: } \hat{v} = \frac{s}{t + \Delta t}$$

van de echte waarde  $v = \frac{s}{t}$ . Dit geeft ten gevolge van detectorfouten een relatieve fout  $\delta v_d$  in  $v$ :

$$\delta v_d = \frac{\hat{v} - v}{v} = - \frac{\Delta t}{t} = - \frac{v \Delta t}{s}$$

Bij een gegeven snelheid  $v$  (de relatieve snelheidsfout wordt steeds berekend bij de standardsnelheid van 25 m/sec. of 90 km/h) en een bepaalde fout  $\Delta t$  (afhankelijk van de detector) kan men  $v \Delta t$  als een constante  $a$  zien, zodat:

$$\delta v_d = \frac{a}{s}$$

De rijfout heeft als oorzaak dat ook door ongelijke passage van primaire en van secundaire lus in de rijtijd  $t$  een meetfout  $\Delta t$  optreedt. Doordat het voertuig iets naar links of rechts is uitgeweken of iets is in- of uitgeveerd, verschilt dan het  $\delta L$ -verloop over beide lussen, en daarmee het aanspreekpunt. In eerste benadering kan men aannemen dat bij een grotere lusafstand de fout  $\Delta t$  daarmee evenredig is, dat wil zeggen  $\Delta t = ks$  ( $k = \text{constante}$ ). Hiermee resulteert voor  $\delta v$  de relatieve snelheidsmeetfout ten gevolge van rijfouten;

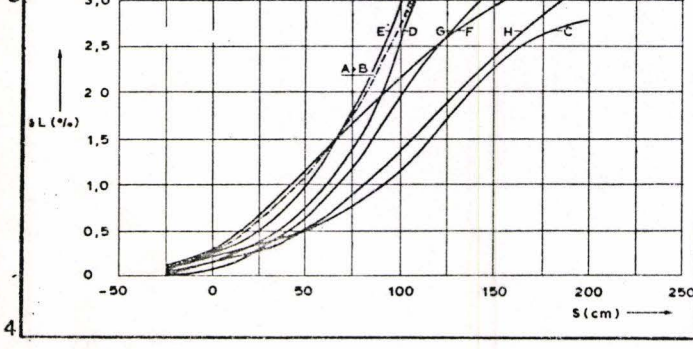
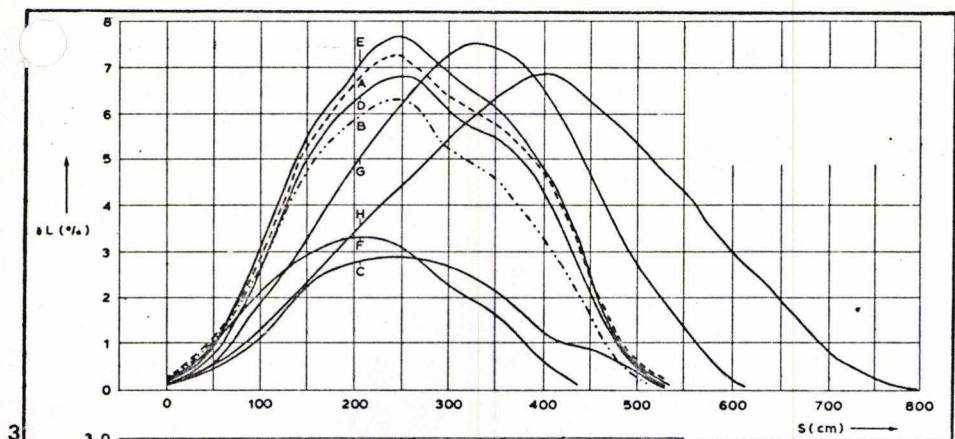
$$\delta v = - \frac{vks}{s} = -vk = \text{constant}$$

Een tweede effect in de rijfout is dat bij scheefrijden onder een hoek  $\varphi$  de rijtijd toeneemt van  $t$  tot  $\frac{t}{\cos \varphi}$ .

Dit effect is echter gering ten opzichte van het effect van ongelijke voertuigpassage. Ook deze geeft een constante bijdrage, zodat de rijfout beschreven kan worden als een constante  $b$ , onafhankelijk van  $s$ . Totaal wordt zo de relatieve snelheidsmeetfout  $\delta v$ :

$$\delta v = \frac{a}{s} + b.$$

Bij vergroten van de lusafstand neemt de kans op 'mislukte metingen' toe. Deze mislukkingen kunnen voortkomen uit 'volgorde-fouten' en 'missers'. Volgorde-fouten treden op als een volgend voertuig de primaire lus binnenvoert voordat het vorige de secundaire verlaten heeft. In principe kan men dit wel opvangen in de verwerking van de detectorsignalen, maar die wordt dan wel gecompliceerd. Missers zijn een extreme vorm van rijfouten waarbij op een van beide lussen geen detectie



3. Verandering van  $L$  door een Simca 1100 bij verschillende lussen.  $S$  is de afstand bumper tot voorribbe van de lus.

4. Als afbeelding 3, maar met andere schaal.

5.  $a/s$  voor drie gevallen, namelijk detectorfout bij 2,5m, respectievelijk 2, 1½ en 1%.

6. Het inveren van een wiel bij een Simca 1100, snelheid 90 km/h, schokbreker in goede conditie.

men dit met de metingen van de hoogtegevoeligheid dan volgt dat fouten van 0,5-1% voor kunnen komen.

Hoewel de inveermeting aanvechtbaar is (in hoeverre veert de band in en in hoeverre de auto?) wordt het getal van 0,5 tot 1% voor de rijfout in zijn totaal als een aardige indicatie beschouwd.

Om deze fout te elimineren zou men een geavanceerde detector moeten ontwikkelen, die compenseert voor het ongelijke  $\delta L$ -verloop. Slechts de (ondergeschikte) cosinusfout blijft dan over.

### Conclusie

In het voorgaande kwam naar voren dat een andere lusvorm dan de tot nu toe gebruikelijke RWS-DVK standaardlus voor snelheidsmeting geen voordelen biedt. De steilheid van het  $\delta L$ -verloop is vrijwel optimaal en voor het nevenaspect van de overbrugging van trekassen is de lusvorm bij de huidige stand van de detectortechniek voldoende goed.

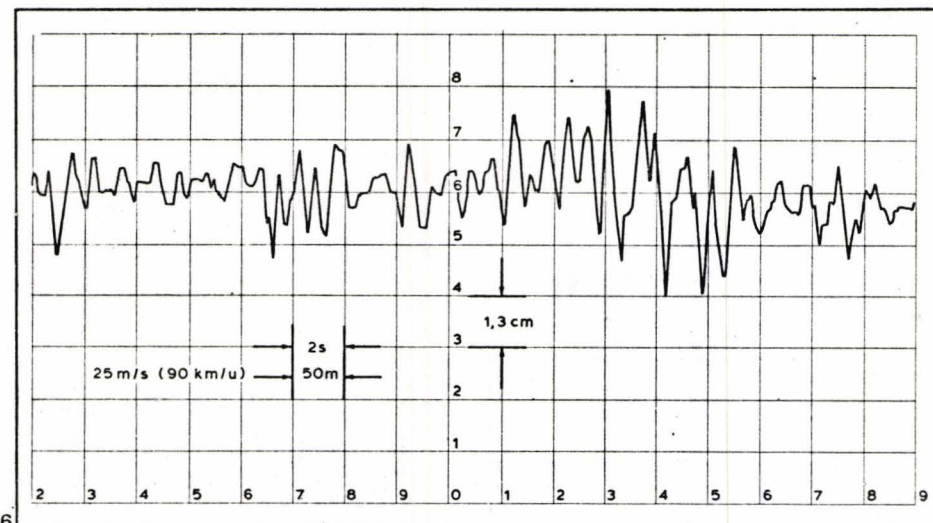
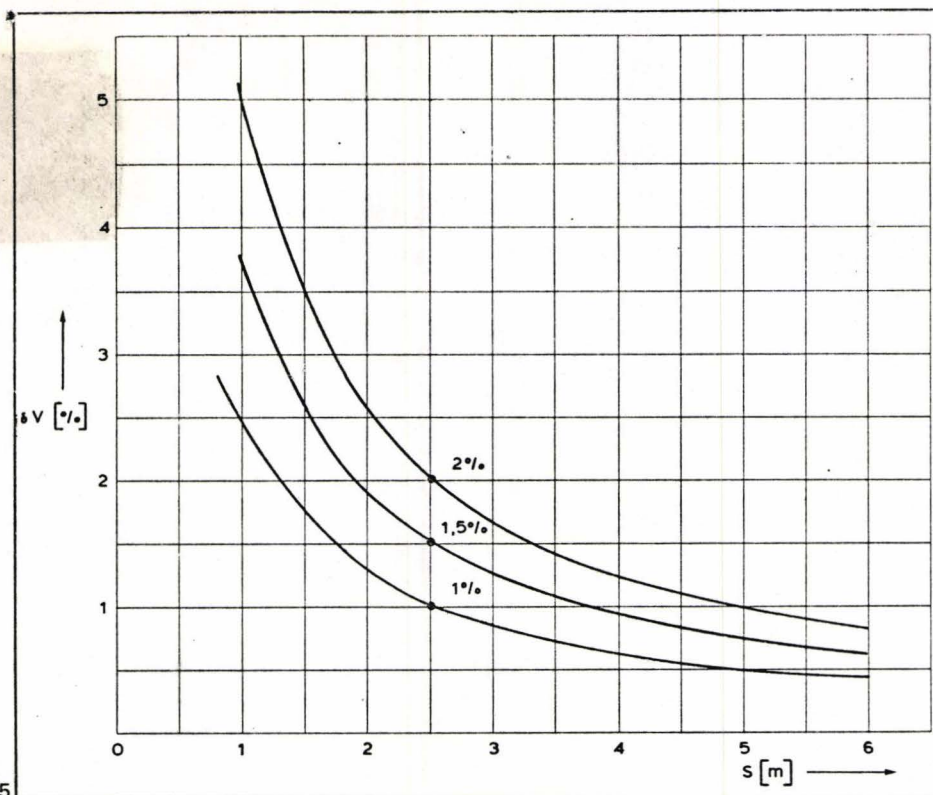
Voor de 'rijfout' heeft een vergroten van de lusafstand in eerste benadering geen effect. Deze is voor de huidige typen detectoren in de orde van 0,5 tot 1%. Door geavanceerde detectoren te ontwikkelen kan deze vrijwel geëlimineerd worden.

De 'detectorfout' wordt op twee manieren verminderd bij een grotere lusafstand. Ten eerste neemt deze af volgens  $\frac{a}{s}$ ; ten tweede

neemt de constante  $a$  zelf iets af door afname van de koppeling tussen primaire en secundaire lus. De winst is echter, bij een goede detector, gering. Hier staat tegenover dat bij een grotere lusafstand de kans op 'mislukte metingen' op nauwelijks te kwantificeren wijze toeneemt.

Op grond hiervan is de mening van de Technisch Fysische Dienst TNO-TH en Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde dat men voor verbetering van de snelheidsmeting de lusconfiguratie niet moet wijzigen: streven naar betere detectoren is een effectievere koers, teneer daar men daarbij met de snelle ontwikkelingen in de (micro)elektronica de komende jaren de wind mee heeft. Wat met de huidige techniek te bereiken is, zal het onderwerp zijn voor een volgend artikel.

**Verantwoording:** De metingen waarop dit artikel is gebaseerd werden uitgevoerd door ing. H. Ekkelenkamp van de Technisch Fysische Dienst TNO-TH in samenwerking met de Rijkswaterstaat.



meer plaats heeft. Kwantitatief is weinig bekend van de relatie tussen de kans op mislukte metingen en de lusafstand. Bij de huidige lusconfiguratie treden beide echter al wel op.

Tot slot het nevenaspect, de onderlinge beïnvloeding van lussen.

Gemeten is dat tussen primaire en secundaire lus een koppeling van -40 dB optreedt, die inderdaad invloed heeft op de detectorfout. Door een grotere afstand wint men hierin echter niet veel en de grens is -50 dB, zijnde de koppeling tussen lussen in naburige rijstroken.

### Kwantificering van de detectorfout

Het gedrag van de detectorfout als functie van de lusafstand  $s$  is geschetst in afbeelding 5 voor drie gevallen namelijk een detectorfout bij  $s = 2,5$  meter van 2%, 1,5% en 1%. De conclusie die men hieraan kan verbinden is dat bij een goede detector („1%“) in het gebied van 2,5 tot 3,5 meter nog slechts 0,25% te winnen is. Dit afwegend tegen de — onbekende — toename van 'mislukte metingen' leidt tot de conclusie dat verbetering van de detector de voorkeur verdient boven vergroten van de lusafstand.

### Kwantificering van de rijfout

Een eerste 'rijfout' is 'scheefrijden'. Hierbij wordt de rijtijd van de primaire lus naar de secundaire lus verlengd volgens een cosinusverband. Zoals reeds opgemerkt is echter een belangrijker effect dat het  $\delta L$ -verloop op beide lussen verschilt! Weliswaar zijn over deze fout schattingen te maken als men een aanname doet over de scheefrijhoek  $\varphi$ , maar door het ontbreken van gegevens over de — ongetwijfeld meetplaatsafhankelijke — verdeling van  $\varphi$ , heeft het weinig zin dit verder uit te werken.

Een tweede rijfout wordt veroorzaakt door 'inveren'. Doordat de hoogte boven de primaire en secundaire lus niet gelijk is, verschilt het  $\delta L$ -verloop en dus treden afwijkingen op in de aanspreekmomenten. Om hierin enig inzicht te krijgen is de invloed van de hoogte op het  $\delta L$ -verloop gemeten. Deze blijkt aanzienlijk.

Tevens is getracht enig inzicht te krijgen in de hoogtevariaties bij een rijdende auto op de weg door het inveren van een wiel te meten. Hieruit is af te leiden dat het regelmatig voorkomt dat de hoogte boven de secundaire lus 1-2 centimeter verschilt van die boven de primaire (afbeelding 6). Combineert