

## **MODELERING VAN INHALEN OP TWEESTROOKSWEGEN**

M.M.Minderhoud, TU Delft, [m.minderhoud@ct.tudelft.nl](mailto:m.minderhoud@ct.tudelft.nl)

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2004,

25 en 26 november 2004, Zeist

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Gedragmodel inhalen .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Structuur van het model .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Calibratie.....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Gevoeligheidsanalyse .....</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Validatie.....</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Conclusies.....</b>	<b>14</b>
	<b>Referenties .....</b>	<b>14</b>

## **Samenvatting**

### *Modelering van inhalen op tweestrookswegen*

Een microscopisch simulatiemodel is ontwikkeld om inhaalbewegingen op twee-strooks wegen met tegemoetkomend verkeer te modeleren. Dit kan nuttig zijn voor onderzoek naar de verkeersafwikkeling, kwaliteitsniveau van de afwikkeling en de veiligheid op dit type wegen. De paper geeft een overzicht van de model structuur en achterliggend gedragsmodel voor het inhalen op dit type wegen.

Uit de calibratie en eerste toepassingen van het model komt naar voren dat de inhaalfrequentie afhangt van de totale intensiteit, intensiteitsverdeling en vrachtwagenpercentage. De validatie laat zien dat het model redelijk in staat is de inhaalfrequentie te voorspellen.

## **Summary**

### *Modeling overtaking on two-lane highways*

A microscopic simulation tool has been developed for 2-lane highways in order to assess the overtaking frequency as function of input variables. Such a tool can be useful for traffic operation research, establishing the level of service and possibly traffic safety research purposes. The paper gives a review of the model structure and underlying behavioural model for overtaking.

The first applications of the model show a strong relationship between total traffic flow, directional split, and truck percentage. The validation of the model shows the capability of the model to predict sufficient reliable overtaking frequencies for given road characteristics.

## 1 Inleiding

De verkeersveiligheid en doorstroming op 2-strookswegen wordt deels door het inhaalgedrag bepaald. Hierover is echter nog maar weinig bekend. Om hierover meer informatie te verkrijgen is een promotieonderzoek gaande waarbij empirische dataverzameling een grote rol speelt [1]. Echter zelfs bij de aanwezigheid van een aanzienlijke hoeveelheid verkeersdata van verschillende wegvakken blijven hiaten in de kennis bestaan voor situaties en condities die afwijken van de meetlokatie en omstandigheden. Om voor al deze mogelijke situaties iets te kunnen zeggen over doorstroming (en indien mogelijk verkeersveiligheid) zonder deze in de praktijk te bemeten, is een micro-simulatietool onmisbaar. Deze paper beschrijft de ontwikkeling en calibratie van een dergelijke tool, welke deels gebaseerd is op een reeds bestaand model, SiMoNe [2]

Vaak wordt de doorstroming en verkeersveiligheid op 2-strooks wegen beschreven in termen van intensiteit, gemiddelde snelheid, reistijd, volgtijden, etc. Het gebruik van het aantal inhalers of inhaalfrequentie wordt veel minder vaak toegepast vanwege het feit dat voor het vaststellen van inhaalbewegingen een uitgebreide studie moet worden opgezet waarbij op minimaal 2 doorsnedes kentekens moeten worden geregistreerd.

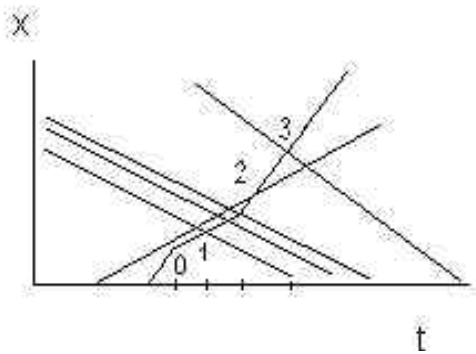
Toch kan deze grootheid ons bruikbare informatie leveren over de doorstroming, veiligheid en operationele kwaliteit (Level of Service) [3].

In het algemeen wordt een inhaalmanoeuvre door een (auto-)bestuurder op 2-strookswegen met tegemoetkomend verkeer uitgevoerd om tijdwinst te behalen, of een hoger comfortniveau te bereiken door volgsituatie te beperken. Duidelijk is dus dat de wenssnelheid van de bestuurder en zijn voertuig van essentieel belang is voor het hebben van een wens tot inhalen. Maar er zijn meer factoren die meespelen in de beslissing tot het inzetten van een inhaalmanoeuvre. Dit wordt in de volgende paragraaf uitgelegd.

## 2 Gedragsmodel inhalen

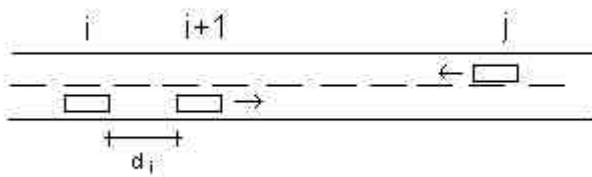
Waarom haalt iemand in en waaruit bestaat een inhaalmanoeuvre? Dit zijn vragen die we moeten beantwoorden voor het ontwikkelen van een realistisch gedragsmodel, die de kern vormt van een simulatietool.

Omdat beter te kunnen beschrijven waaruit een inhaalbeweging bestaat kijken we naar een tijd-wegdiagram voor een 2-strooksweg met tegemoetkomend verkeer (figuur 1). Het volgende is hieruit op te merken. Op tijdstip 0 nadert een snel rijdend voertuig een voorligger. Hij kan niet inhalen, het tijdshiaat tussen 0 en 1 is te klein. Op tijdstip 1 komt de tegenligger hem tegemoet. Na passeren van nog twee tegenliggers komt op moment 2 de mogelijkheid om in te halen. Het hiaat tussen tijdstip 2 en 3 is voldoende om de manoeuvre uit te voeren. De bestuurder rijdt na de inhaalbeweging verder met zijn eigen wensnelheid.



**Figuur 1: Tijd-weg diagram**

Voor het beschrijven van de betrokken voertuigen en de invloedsparameters die de start van een inhaalmanoeuvre bepalen, kunnen we gebruik maken van een momentopname zoals weergegeven in de volgende figuur 2.



**Figuur 2 Voertuigen betrokken bij inhaalbeweging**

In het de praktijk kunnen we onderscheid maken tussen de wens van bestuurders om in te halen en het starten van een inhaalbeweging. In de modelering volgen we dit onderscheid ook. Beide onderdelen worden hieronder beschreven.

### **Wens tot strookwisselen**

Een wens tot inhalen bestaat voor een bestuurder wanneer een langzamer rijdende voorligger binnen een zekere afstand is, en duidelijk langzamer rijdt dan de bestuurder van het achterliggende voertuig wenst. In het model is de drempelwaarde voor ‘zekere afstand’ gekozen voor 2.5 seconde volgtijd. Het ‘duidelijk langzamer rijden’-element is geformuleerd door middel van een variabele voor een geaccepteerd snelheidsverschil. Als bijvoorbeeld een bestuurder  $i$  een wensnelheid heeft van 85 km/h, maar de voorligger  $i+1$  rijdt 81 km/h zal de bestuurder  $i$  niet gaan inhalen wanneer deze een relatief snelheidsverschil van 5 km/h accepteerd. Deze drempelwaarde is een inputvariable in het model.

### **Uitvoeren strookwisseling**

Indien een bestuurder een inhaalwens heeft, zal deze zo snel mogelijk inhalen wanneer dit fysiek mogelijk is. De bestuurder zal zowel een inschatting maken voor de tijd  $T_{inh}$  die benodigd is voor het uitvoeren van de complete inhaalbeweging, als wel van de beschikbare hiaat op de strook van de tegenliggers  $T_{opp}$ . In wiskundige formulering:

$$T_{inh} = T_{pas} + T_h + T_{lc} + T_{saf}$$

Waarin

$T_{pas}$  : tijd nodig om de voorligger te passeren

$T_h$  : tijd nodig om gewenst tijdshiaat voor ingehaald voertuig te creëren

$T_{lc}$  : geschatte benodigde strookwisseltijd

$T_{saf}$  : gewenste veiligheidsmarge

De tijd  $T_{pas}$  die nodig is om de voorligger te passeren kan worden berekend uit de vergelijking

$$d_i + L_{i+1} + v_{i+1} T_{pas} = v_i T_{pas} + \frac{1}{2} a_i T^2$$

(*nieuwe positie voorligger = nieuwe positie inhaler*)

waarin

$d_i$  : afstand tot voorligger bij start inhaalmanoeuvre

$L_{i+1}$  : voertuiglengte voorligger

$v_{i+1}$  : snelheid voorligger

$v_i$  : snelheid inhaler

$a_i$  : geschatte acceleratie tijdens inhalen

De tijd  $T_h$ , nodig om een veilig tijdshiaat voor het ingehaalde voertuig te creëren, hangt af van wat de bestuurder een veilig tijdshiaat vindt. Als we uitgaan van 0.8 seconde en een gelijkblijvende relatieve snelheid, waarbij de inhaler met snelheid  $v_{pas}$  blijft doorrijden, dan berekenen we  $T_h$  als volgt:

$$T_h = 0.8 v_{i+1} / (v_{pas} - v_{i+1})$$

De strookwisseltijd  $T_{lc}$  is een input variabele, de gemiddelde waarde (gemeten in praktijk) is ongeveer 3 seconde.

De veiligheidsmarge  $T_{saf}$  die de bestuurder hanteert (aantal resterende seconden voordat tegenligger passeert nadat inhaalmanoeuvre voltooid is) is eveneens een inputvariabele.

Indien nu de geschatte tijdsduur van de complete inhaalmanoeuvre minder is dan de geschatte beschikbare hiaat van de tegenligger ( dus  $T_{inh} < T_{opp}$  ) zal de inhaalmanoeuvre worden gestart. Het beschikbare hiaat wordt als volgt vastgesteld:

$$T_{opp} = d_j / (v_j + v_i)$$

Waarin

$d_j$  : afstand tot tegenligger voordat inhaalmanoeuvre is gestart

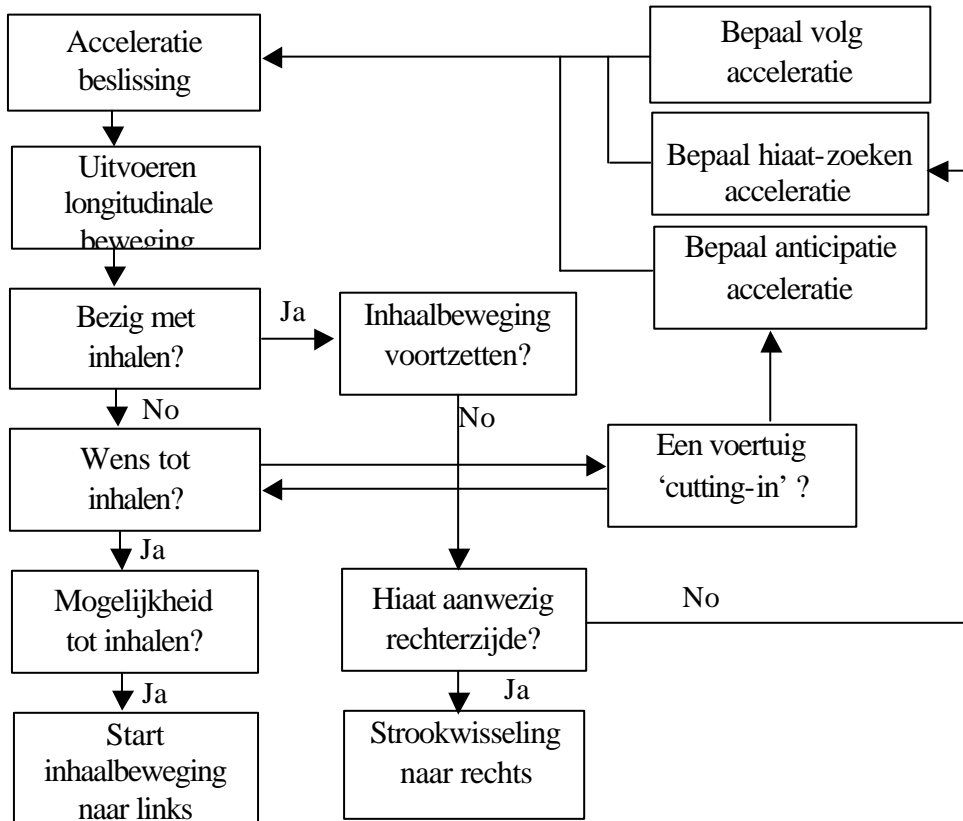
$v_j$  : ingeschatte snelheid van de tegenligger

Bovenstaande gedragsmodel voor het inhalen is in het simulatiemodel geïmplementeerd. De relatie met andere submodellen in het model staat beschreven in de volgende paragraaf.

### 3 Structuur van het model

In de volgende figuur staat schematisch de opbouw van het simulatiemodel weergegeven.

Voor elk voertuig, en op elk tijdstap wordt dit stroomdiagram doorlopen.



**Figuur 3** Stroomschema tweestrooks inhaalmodel

Startpunt in dit schema is de berekening van de acceleratie, en keuze van de maatgevende acceleratie die volgt uit verschillende submodellen (zie voor details [2]). Nadat dit longitudinale gedrag is uitgevoerd komt het laterale aspect ter sprake. Gecontroleerd wordt of een voertuig bezig is met een inhaalbeweging, zo nee dan wordt bekeken of er een inhaalwens bestaat (beschreven in vorige paragraaf). Bestaat er een inhaalwens, dan wordt bekeken of deze uitvoerbaar is (beschreven in vorige paragraaf), zo ja dan wordt deze gestart.

Indien een voertuig reeds bezig is met de uitvoering van een inhaalmanoeuvre dan wordt gecontroleerd of deze beweging kan worden voortgezet of kan worden gestopt. Er kan bijvoorbeeld door omstandigheden worden afgeremd/geaccelereerd op de naaste strook, waardoor de inschattingen bij het starten van de inhaalbeweging niet meer kloppen. Wellicht



moet uit veiligheidsoogpunt de inhaalbeweging worden afgebroken of wil de bestuurder vervroegd terug naar rechts. Indien de beslissing wordt genomen om terug naar rechts te gaan wordt gecontroleerd of er een geschikt hiaat is aan de rechterzijde. Indien niet, dan zal het voertuig de snelheid aanpassen (deceleratie/acceleratie) om sneller te positioneren naar een geschikt hiaat.

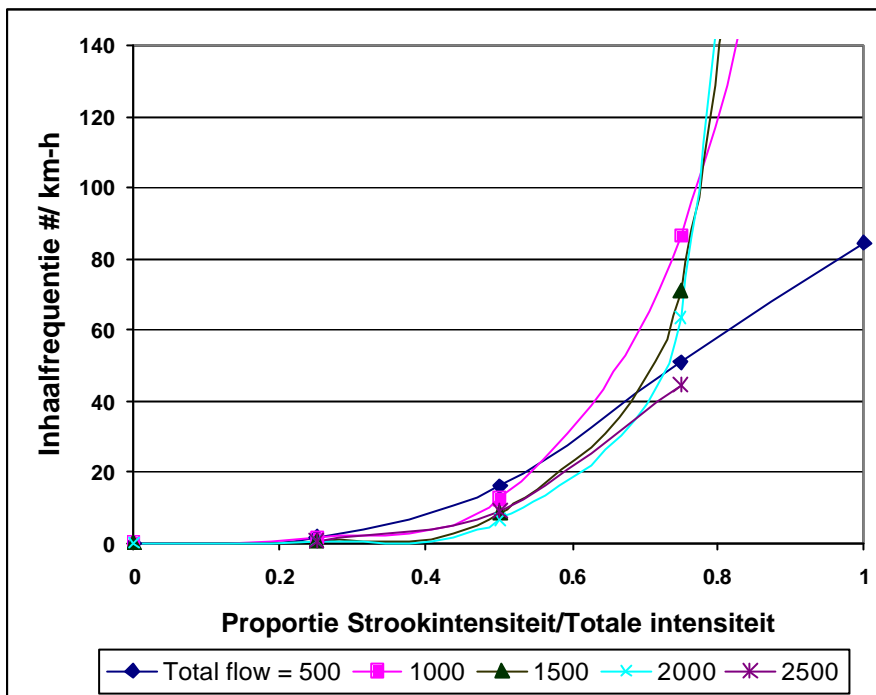
#### **4 Calibratie**

Bij de ontwikkeling en calibratie van het model is gebruik gemaakt van empirische data in 2003 verzameld op de N305 in Flevoland. Op een wegvak van 5 km werden drie uur lang nummerborden geregistreerd op 2 doorsneden (begin en eind van het wegvak), waarna uit de veranderde volgorde van doorkomst het aantal inhalers kon worden afgeleid [1].

Opgemerkt moet worden dat het model rekent met het *starten* van een inhaalbeweging door een inhaler. Een inhaler kan meerdere voertuigen tegelijk inhalen; dit wordt niet geteld in de simulatie.

In de empirische studie wordt zowel het aantal voertuigen dat heeft ingehaald geteld, en het aantal voertuigen dat per inhaler is ingehaald. Dus onbekend is *hoe* de inhalers de ingehaalde voertuigen hebben ingehaald (het verschil tussen in één manoeuvre twee voertuigen inhalen of in twee manoeuvres twee voertuigen).

Bij een intensiteitsverhouding van circa 1000 op de ene richting en 500 op de andere richting werden 22 inhalers per km per uur geteld (met 51 ingehaalde voertuigen) op de drukke richting en 3 inhalers per km per uur (met 4 ingehaalde voertuigen) op de minder drukke richting.



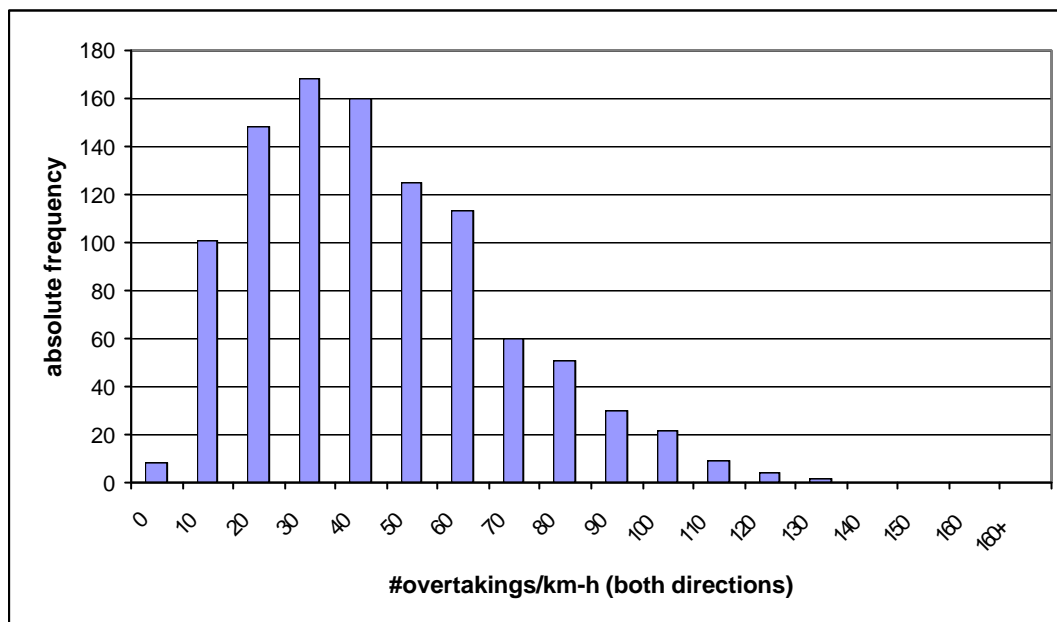
**Figuur 4** Diagram voor bepalen aantal inhalers per km per uur gegeven totale intensiteit en intensiteitsverdeling ( $v=100$  km/h,  $stdev=8$  km/h,  $truckpercentage=5$ )

Voordeel van simulatie is de mogelijkheid om snel voor een groot aantal scenario's de invloed op de verkeersafwikkeling te bekijken. In bovenstaande figuur 4 is het resultaat van een aantal simulaties, uitgevoerd na de calibratie, weergegeven. Voor verschillende totale intensiteiten bij verschillende verdelingen over de stroken kan worden afgelezen wat de te verwachten inhaalrequentie is. Kijken we naar de curve van 1500 vtg/u bij een aandeel van 0.66 dan zien we een waarde van ongeveer 38 inhalers/(km-u). Voor de andere richting kijken we naar een aandeel van 0.34 en zien een waarde van 2 inhaler/(km-u). Deze waarden komen redelijk overeen met de praktijkdata. De grote variatie in de waarden is niet aangegeven in de figuur, tevens is daar geen praktijkdata over beschikbaar. De volgende paragraaf gaat daar verder op in.

## 5 Gevoeligheidsanalyse

Om te testen hoe gevoelig en stochastisch het model is, zijn 1000 simulatieruns van 15 minuten uitgevoerd. Elke simulatie run is uitgevoerd met een andere random seed, zodat de uitkomsten steeds verschillend kunnen zijn ondanks dezelfde input. De figuur 5 geeft het

resultaat van de simulaties. De frequentieverdeling van het aantal inhalers/(km-u) laat zien dat de variatie in uitkomsten vrij groot is (waarden tussen 0 en 140 inhalers/(km-u) zijn mogelijk). De gemiddelde waarde (voor beide richtingen samen) is 38 inhalers/(km-u), standaard deviatie van 24 en met een C.O.V. van 0.6.

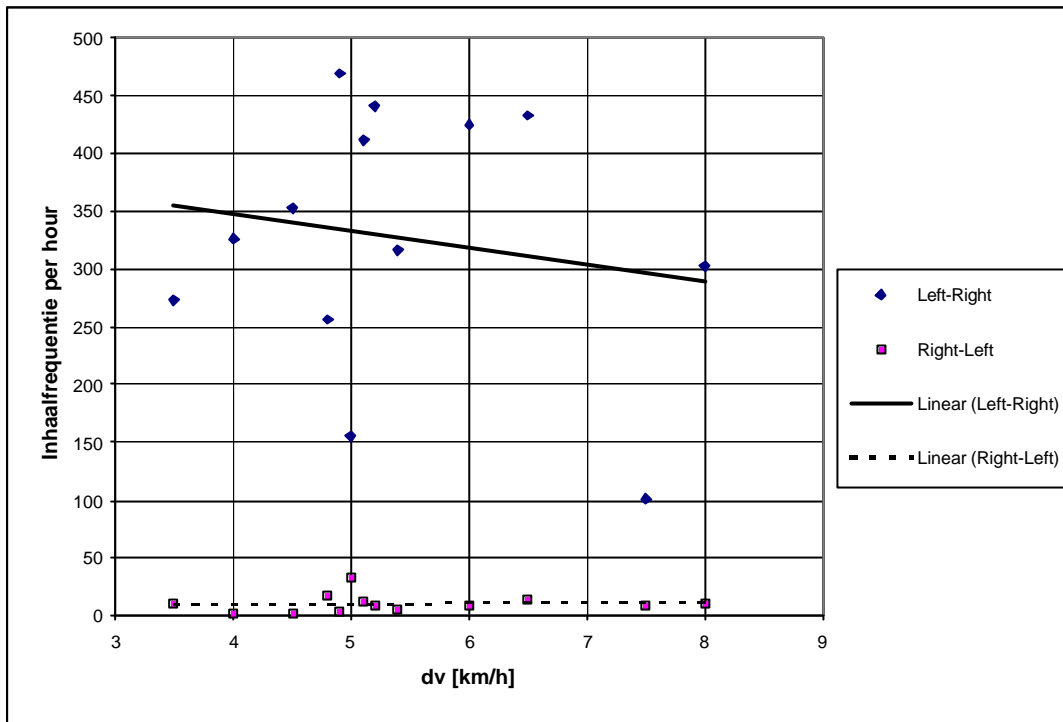


**Figuur 5** Frequentieverdeling aantal inhalers per km per uur geeft inzicht in de stochasticiteit van het model (totale intensiteit =1500 vtg/h, richtingverdeling 66/34,  $v=100$ ,  $stdev=8$ )

Conclusie hieruit is dat een enkele simulatierun te weinig informatie verschaft over de gemiddelde waarde. Om met een betrouwbaarheid van 95% en een marge van 10#/(km-u) een gemiddelde te bepalen zijn minimaal 23 waarnemingen van een kwartier nodig. Indien de resultaten van de simulatie ook op de praktijk van toepassing zijn, dan betekent dat er ongeveer 6 uur gemeten moet worden (onder gelijkblijvende condities) voordat een betrouwbaar gemiddelde kan worden vastgesteld.

Bij de calibratie zijn verschillende parameters getest en aangepast. Een belangrijke parameter voor het inhaalgedrag is de drempelwaarde  $dv$  voor de inhaalwens, een geaccepteerde relatieve snelheid ten opzichte van de voorligger.

In theorie betekent een grotere waarde voor  $dv$  dat er minder inhaalwens ontstaat. Een lagere waarde betekent dat er meer inhaalwens zal ontstaan. De gevoeligheid van deze parameter is onderzocht en de resultaten zijn grafisch weergegeven in de figuur 6.



**Figuur 6** Invloed van de drempelwaarde  $dv$  voor de inhaalwens op de inhaalrequentie

Het blijkt dat de theoretische verwachting klopt, een dalende trendlijn is te ontdekken in de data van de 'links-rechts' rijrichting. Wel is duidelijk zichtbaar dat door de grote stochasticiteit de punten nogal wijd verspreid zijn: een langere simulatieduur of meer simulaties was wellicht beter geweest. Een standaardwaarde van  $dv=5$  wordt momenteel gehanteerd in het model.

## 6 Validatie

Voor de validatie wordt empirische data gebruikt die in 2004 is verzameld op de N255 in Zeeland. De inhaalrequentie is hier verzameld voor de drukste rijrichting, op twee kenmerkend verschillende dagen, gedurende zes uur.

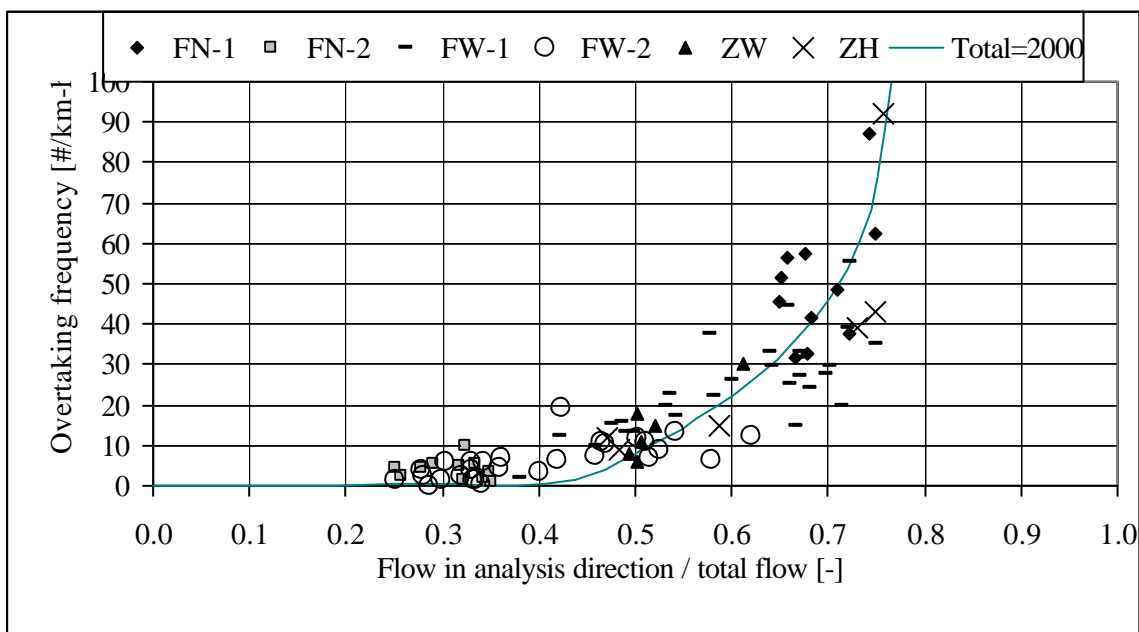
Op een werkdag werd bij een strookverdeling van 50/50 en totale gemiddelde intensiteit van 500 vtg/u 6 inhalers/(km-u) geteld. De simulatie (gebaseerd op 3 uur data en 4% vrachtverkeer) geeft een waarde van 13 per km-u.

Op een feestdag werd bij een strookverdeling van 60/40 en totale gemiddelde intensiteit van 750 vtg/u 11 inhalers/(km-u) geteld. De simulatie (gebaseerd op 3 uur data en 0% vrachtverkeer) geeft een waarde van 17 per km-u.

In beide situatie overschat het simulatiemodel het aantal inhaalbewegingen. Hiervoor zijn verschillende oorzaken aan te wijzen:

- Simulatie telt inhalers/(km-u) van werkelijk gestarte inhaalmanoeuvres, terwijl de data uit de praktijk inhalers telt zonder kennis van het aantal manoeuvres die ze individueel hebben uitgevoerd. Dit leidt tot een onderschatting.
- Er is gecalibreerd op basis van een wegvak (N305) waar inhalen maximaal mogelijk is (een wegvak van 5 km zonder kruisingen); in Zeeland was het wegvak veel korter (2 km).
- Er is gecalibreerd op basis van een wegvak dat voornamelijk met woon-werkverkeer belast is; in Zeeland bestond de verkeerssamenstelling voor een groot deel uit recreatief verkeer (minder haast, onbekendheid van de weg, minder wens om in te halen).

In de volgende overzichtsfiguur is alle empirische data (inhaalfrequentie) afgebeeld die momenteel voorhanden is (opgedeeld in 15 minuten intervallen), dat zijn metingen uit Flevoland op 2 dagen en in 2 richtingen, en metingen uit Zeeland op 2 dagen voor 1 richting. Deze meetpunten hebben bijhorende intensiteiten tussen 500 en 2000 voertuigen/uur. Tevens is in de figuur een lijn aangegeven die volgt uit simulaties van een totale verkeersvraag van 2000 voertuigen/uur. Een redelijk goede overeenkomst is te zien.



**Figuur 7** Overzicht empirische data en simulatieresultaat (simulatie voor  $I=2000$  vtg/u)

## 7 Conclusies

Een microscopisch simulatiemodel is ontwikkeld om inhaalbewegingen op twee-strooks wegen met tegemoetkomend verkeer te modeleren. Dit kan nuttig zijn voor onderzoek naar de verkeersafwikkeling, kwaliteitsniveau van de afwikkeling en de veiligheid op dit type wegen. Uit de calibratie en eerste toepassingen van het model komt naar voren dat de inhaalfrequentie afhangt van de totale intensiteit, intensiteitsverdeling en vrachtwagenpercentage. De validatie laat zien dat het model redelijk in staat is de inhaalfrequentie te voorspellen. Verbeteringen aan de modelering zijn wellicht nodig om bijvoorbeeld de invloed van recreatief verkeer expliciet te maken.

## Referenties

- [1] G. Hegeman & M.M.Minderhoud (2004), ADAS safety potential on overtaking frequency, ITS World Congress 2004.
- [2] M.M.Minderhoud (1999), Simone:functional description, TU Delft [downloadable at: [http://cttrailf.ct.tudelft.nl/verkeerskunde/simone/Tech\\_spec.pdf](http://cttrailf.ct.tudelft.nl/verkeerskunde/simone/Tech_spec.pdf)].
- [3] G. Hegeman & M.M.Minderhoud (2004), Alternative approach for determining LOS on two-lane highways, paper submitted for TRB 2005