

*Het gebruik van
microscopische
verkeerssimulatie bij een
onderzoek naar de
fileproblematiek op de
Antwerpse Ring.*

Sven Maerivoet

Universitaire Instelling Antwerpen
Departement Wiskunde-Informatica

<http://mitrasim2000.dyns.cx>

Begeleidende notities voor slide 1

- Korte verwelkoming.
- Iedereen alvast bedanken om te komen.
- Verwijs naar website :
 - thesisdocument
 - en alle software.

Overzicht

- Overzicht,
- hypotheses,
- opbouw van het simulatiemodel,
 - voertuig-volg model,
 - vak-verander model,
- experimenten bij de hypotheses,
 - computationele gegevens,
 - geografische situering,
 - conclusies van elk experiment,
- nabeschouwing,
- korte demonstratie,
- vragen.

- Dit is het *overzicht*.
- Formuleren van probleemstelling aan de hand van *hypotheses* die ingekaderd zijn in :
 - de hedendaagse drukke verkeerssituatie
 - op onze Belgische autosnelwegen,
 - de aandacht gaat hoofdzakelijk uit naar de situatie op de Antwerpse Ring
 - met in het bijzonder de Kennedytunnel.
- *Opbouw van het simulatiemodel* dat gebruikt wordt :
 - onderliggende veronderstellingen,
 - 2 belangrijkste modellen waarop alles steunt.
- De *nabeschuwing* richt zich hoofdzakelijk op de doelstellingen van deze thesis.
- Tot slot een korte demonstratie van de software en het beantwoorden van vragen.

Hypotheses

1. Het veranderen van de snelheidsbeperking,
2. het opleggen van een inhaalverbod,
3. beperkingen op het vakgebruik door zwaar verkeer,
4. de invloed van middenvakrijders
5. en het gebruiken van een extra vak.

Uitvoeren van een *referentie-experiment* !

- De hypothesen zijn dus toegespitst op de situatie aan de Kennedytunnel.
- Overloop kort hypothesen 1, 2, 3 en 5.
- Hypothese 4 is niet echt een hypothese maar eerder een onderzoek naar het effect dat middenvakrijders kunnen hebben op een verkeersstroom.
- Om de resultaten van de experimenten te kunnen interpreteren is een basis voor vergelijken nodig, vandaar het *referentie-experiment*.

Opbouw van het simulatiemodel

- Microscopisch model :
 - tijdsstap = $\frac{1}{10}$ s,
 - geen weersomstandigheden,
 - geen baankromming en frictie,
 - wel hellingen (*tunneleffect*).
- Karakteristieken van bestuurders :
 - reactietijd (*lognormaal*),
 - agressie (*uniform*),
 - middenvakrijder (*uniform*),
 - exces voor snelheidsbeperking.
- Karakteristieken van voertuigen :
 - personenwagens en vrachtwagens,
 - versnellingsvermogens.

EENVOUD \iff **REALISME**

- *Microscopisch model* :
 - dit model gaat ervan uit dat een verkeersstroom is opgebouwd uit talrijke kleine elementen, namelijk de voertuigen.
 - De *tijdsstap* dient fijn genoeg te zijn om geen al te grove benaderingen van de werkelijkheid te krijgen.
 - Voertuigen remmen niet per se af in *scherpe bochten* en zijn niet onderhevig aan *wrijvingskrachten* tussen banden en wegdek.
 - Hellingen zijn *nodig* omdat we met de Kennedytunnel te maken hebben.
- Het *exces voor snelheidsbeperking* geeft aan met welke snelheid een bestuurder de snelheidsbeperking overtreedt en heeft een eigen, specifieke verdeling.

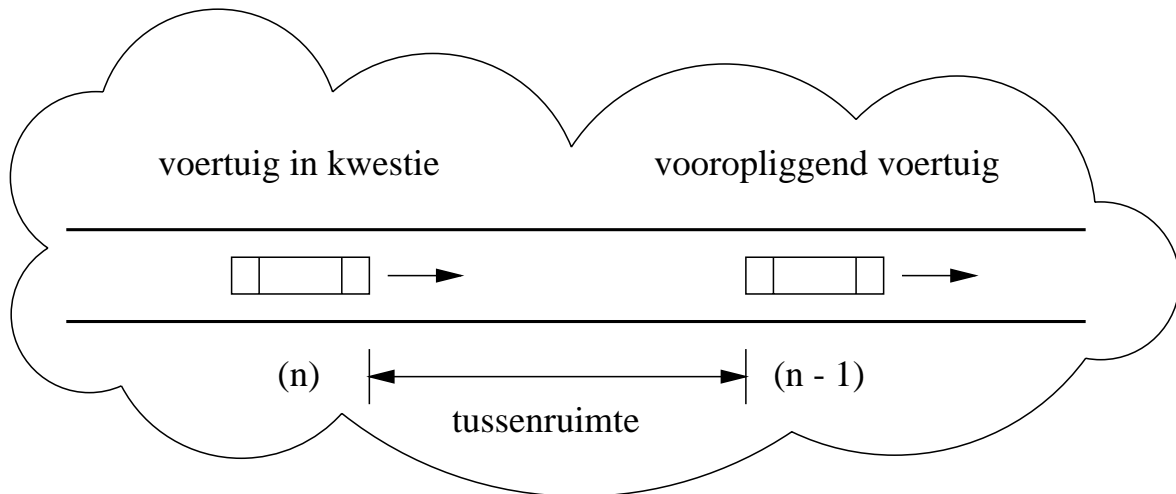
Doel is om een zo eenvoudig mogelijk model te ontwikkelen dat een zo realistisch mogelijke nabootsing van de werkelijkheid geeft.

⇒ **beperken van factoren en parameters** (*dit is een typisch fenomeen bij microscopische simulators*).



KALIBRATIE !

Voertuig-volg model



$$\text{respons} = \lambda \cdot \text{stimulus}$$



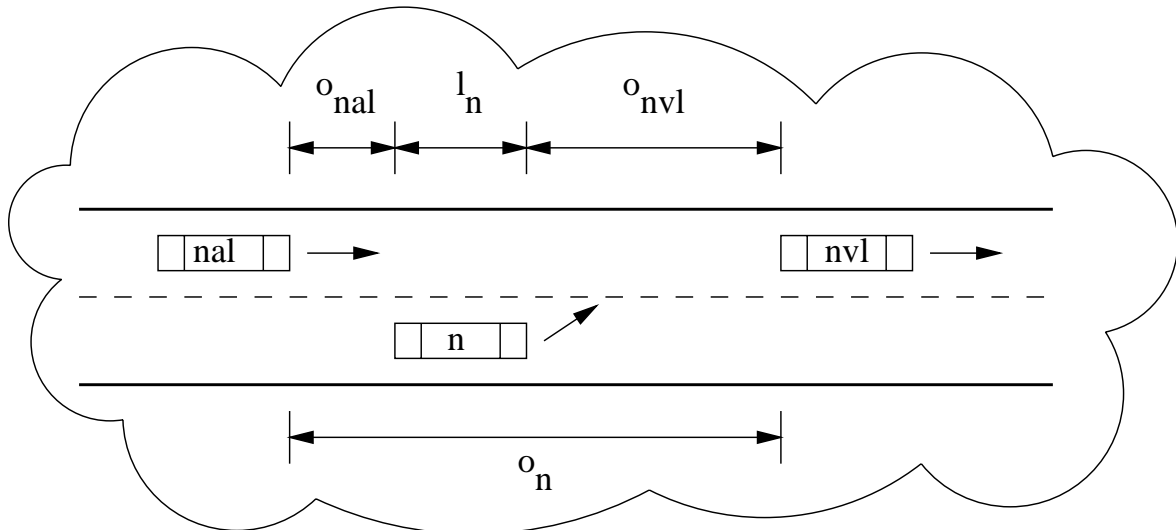
$$a_n(t + \text{reactietijd}) \sim f(t, \bullet)$$

met $\bullet \in$ {

- agressie
- tussenruimte
- tussentijd
- snelheid
- relatieve snelheid

- De vrolijke boogjes stellen een wolk voor : *alle beslissingen worden genomen op basis van de gebeurtenissen in die wolk.*
- Een bestuurder reageert (*respons*) op situaties (*stimulus*). Deze reactie gebeurt een zekere tijd – de reactietijd – na het waarnemen van die situaties.
- De *responsfunctie* is meestal de versnelling in functie van de tijd aangezien een bestuurder hier directe controle over heeft.
- De *stimulusfunctie* bestaat uit diverse factoren.

Vak-verander model



$$p(\text{veranderen van vak}) \sim f(\bullet)$$

met $\bullet \in$ {

- kritische grootte van openingen
- reactietijd
- agressie
- afstand tot einde oprit/afrit
- snelheid en gewenste snelheid
- vakovergangsregels

- De *kans om een vakverandering uit te voeren* is afhankelijk van verschillende factoren. De *vakovergangsregels* omvatten de wegmarkeringen (onderbroken of ononderbroken scheidingslijnen) en op welke vakken vrachtwagens mogen rijden).
- Heel belangrijk is het concept *kritische grootte van openingen* : dit bepaalt of een bestuurder het veilig en opportuun acht om zich bij de voertuigen in het desbetreffende vak te voegen.
- Bij het beslissen om van vak te veranderen, wordt enkel *de situatie in de directe omgeving van het voertuig in kwestie* beschouwd !

Opmerkingen over beide modellen :

- ze maken deel uit van het hart van microscopische simulators en worden *elke tijdsstap* aangeroepen,
- ze worden hier nogal *simplistisch voorgesteld*, in praktijk komt er wel wat *meer wiskunde* bij kijken,
- het *complexe gedrag* van bestuurders wordt dus beschreven met enkele *eenvoudige regels*.

Computationele gegevens

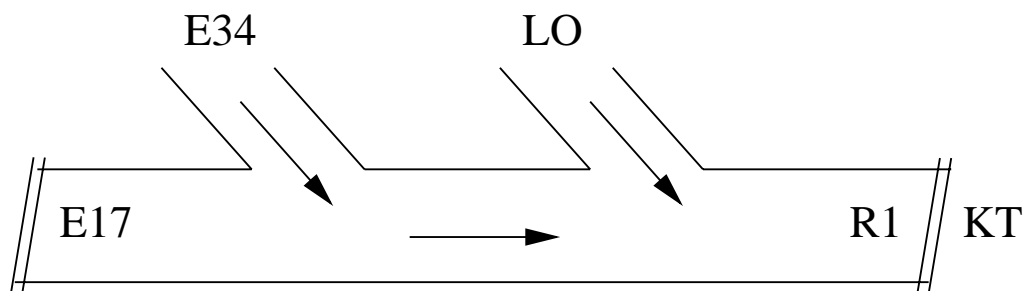
- Intel Pentium III 667 MHz processor,
- 128 Mb RAM,
- 43 stukken autosnelweg (intern voorgesteld door gerichte graf),
- 133 knooppunten,
- drie uur *werkelijke rekestijd* nodig,
- ‘slechts’ een twintigtal minuten *gesimuleerde tijd*,
- ruim 2200 voertuigen in simulator.

Belangrijk om op te merken is :

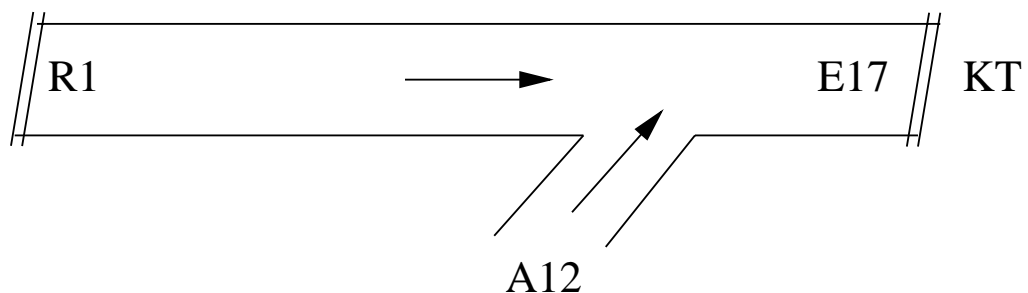
- *intern* wordt het wegennetwerk voorgesteld als een gerichte graf waarbij de verbindingen de stukken autosnelwegen zijn,
- een experiment uitvoeren gebeurt niet op één, twee, drie,
- trage simulator \Rightarrow *geen* real-time,
- een experiment van *7 uur* leidde tot :
 - slechts *2500 voertuigen*
 - en ongeveer *38 minuten* gesimuleerde tijd.

Geografische situering

- *Koker richting Antwerpen :*



- *Koker richting Gent :*



- hier telkens 3 vakken op hoofdbaan, 2 vakken op opritten,
- lusedetectoren aan in- en uitgangen van beide kokers van de Kennedytunnel.

- Experimenten werden uitgevoerd op een *bepaald stuk* van de Antwerpse Ring (dit stuk wordt getoond tijdens de *demonstratie*),
- de *metingen* werden verricht aan de in- en uitgangen van beide tunnelkokers (waar lusdetectors werden geplaatst).

Veranderen van de snelheidsbeperking

*Experiment uitgevoerd aan koker richting
Gent.*

- Doorstroming : hoogste bij 100 km/u.
- Gemiddelde snelheid :
 - bij inrijden tunnelkoker is deze voor alle scenario's ongeveer dezelfde (*opstopping*),
 - bij uitrijden tunnelkoker ligt deze hoger voor 120 km/u.
- Altijd lagere dichtheid bij 120 km/u.



**100 km/u meest optimaal bij inrijden
tunnelkoker !**

Op de Antwerpse Ring geldt een snelheidsbeperking van 100 km/u, deze hypothese onderzoekt het effect van snelheidsbeperkingen van 90 km/u en 120 km/u.

- 120 km/u levert een lagere doorstroming op dan 100 km/u, hetzelfde geldt voor 90 km/u.
- Bij uitrijden tunnelkoker :
 - *tunneleffect* gaat een grotere rol spelen,
 - vrachtwagens hebben meer moeite met de steile helling,
 - vrachtwagens gaan het verkeer ophouden,
 - ook al kan dit verkeer sneller stromen.

Verhogen van de snelheidsbeperking :

- enkel een merkbare invloed bij het uitrijden van de tunnelkoker,
- geen effect op het opgestopte verkeer dat zich vormt aan de ingang van de tunnelkoker (waar het verkeer komende van A12 zich mengt).

Hogere snelheidsbeperkingen ? \Rightarrow onveiligere situaties !

Opleggen van een inhaalverbod

Experiment uitgevoerd aan koker richting Antwerpen.

- Situaties bij in- en uitrijden tunnelkoker zijn verschillend.
- Bij inrijden tunnelkoker :
 - *geen* betere doorstroming,
 - lagere gemiddelde snelheid,
 - hogere dichtheid.



**Inhaalverbod niet effectief genoeg
(wel toename aan veiligheid).**

Veronderstelling :

- *inhalen* impliceert een vakverandering,
- anders spreek ik van *voorbijrijden*.

Wat zijn de gevolgen indien er geen enkel voertuig meer van vak mag veranderen ?

- *Verschillende situaties* : de gegevens bij het inrijden zijn het ‘omgekeerde’ van de gegevens bij het uitrijden van de tunnelkoker.
- *Geen betere doorstroming* want :
 - het verkeer komende van E34 en Linkeroever kan niet meer mengen met het verkeer komende van de E17.
 - Er rijden dus minder voertuigen per tijdseenheid de tunnelkoker in.
- *Lagere gemiddelde snelheid* :
 - bij inrijden tunnelkoker want vrachtwagens komende van de linkse oprit kunnen nu niet meer naar de rechtse vakken rijden zodat zij het verkeer globaal gaan ophouden.

- Vanaf de ingang van de tunnelkoker geldt het inhaalverbod niet meer zodat ze daar wel naar het rechtse vak kunnen rijden en het verkeer dus minder wordt opgehouden wat maakt dat de gemeten waarden voor beide scenario's weinig verschillen.
- *Hogere dichtheid :*
 - bij inrijden tunnelkoker want de vrachtwagens zijn nu over drie in plaats van twee vakken verspreid.
 - Bij het uitrijden van de tunnelkoker zijn de verschillen onbeduidend.

Een inhaalverbod levert wel een toename aan veiligheid op aangezien de bestuurders zich nu enkel op hun voorligger dienen te concentreren.

Het effect kan in werkelijkheid getest worden omdat het veranderen van de wegmarkeringen snel kan gebeuren (op één nacht tijd) en een redelijk goedkope ingreep is in vergelijking met andere, meer gesofistikeerde oplossingen.

Beperkingen op het baangebruik door zwaar verkeer

*Experiment uitgevoerd aan koker richting
Gent.*

Indien beperkingen *niet* gelden :

- Betere doorstroming,
- lagere gemiddelde snelheid bij
uitrijden tunnelkoker,
- hogere dichtheid.



**Beperken is niet effectief genoeg
(is wel een vorm van blokrijden).**

Vrachtwagens mogen normaal niet op het uiterst linkse vak rijden, wat gebeurt er als ze dit wel mogen, of als ze slechts op het uiterst rechtse vak mogen rijden ?

- *Betere doorstroming* indien vrachtwagens op alle drie de vakken mogen rijden.
 - Mogelijke verklaring : er treedt een vorm van *blokrijden* op. Een soortgelijk effect kan waargenomen worden wanneer op de twee rechtse vakken vrachtwagens het verkeer ophouden en op het linkse vak een trage bestuurder rijdt.
 - *Dit toont aan dat het gedrag van individuele bestuurders van personenwagens een oorzaak van opstoppingen vormt.*
- *Lagere gemiddelde snelheid* omdat het snelle verkeer opgehouden wordt door de vrachtwagens die onderhevig zijn aan het *tunneleffect*.
- *Hogere dichtheid* zowel bij in- als uitrijden van de tunnelkoker. Analoog aan het vorige experiment.

Blijkbaar is het beter dat er geen beperkingen worden opgelegd.

Invloed van middenvakrijders

Experiment uitgevoerd aan koker richting Antwerpen.

Def.: Middenvakrijders willen *niet* naar uiterst rechtse vak.

- Doorstroming :
 - Lager bij inrijden tunnelkoker.
 - Bij uitrijden tunnelkoker \Rightarrow ?
- Gemiddelde snelheid ligt hoger bij meer middenvakrijders (uitz.: uitrijden tunnelkoker). Het omgekeerde geldt voor de dichtheid.



Rol van middenvakrijders ?
(*'niet te veel, niet te weinig'*)

Definieer het concept ‘*middenvakrijder*’ in de simulator.

- *Doorstroming* :
 - bij inrijden tunnelkoker : *lager* want het verkeer op het uiterst rechtse vak bestaat nu enkel uit verkeer dat komt van de E17, vermits het niet meer gemengd wordt met het verkeer komende van de E34 en Linkeroever.
 - Bij uitrijden tunnelkoker : de gemeten waarden fluctueren zeer hevig in alle scenario’s.
- De *gemiddelde snelheid* ligt hoger indien er meer middenvakrijders zijn. Bij het uitrijden van de tunnelkoker ligt deze hoger bij 0% en 100% middenvakrijders dan bij 30% en 60% middenvakrijders.

Lokaal optimum bij 60% ? Als we het aantal voertuigen dat de lusdetectoren passeert beschouwen, dan blijkt dit zo te zijn.

Blijkbaar kunnen middenvakrijders – indien niet te talrijk aanwezig – een verkeersstroom gunstig beïnvloeden.

Verder onderzoek naar de rol die middenvakrijders in een verkeersstroom spelen, de relevante factoren en hun invloed is zeker nodig !

Gebruiken van een extra vak

*Experiment uitgevoerd aan koker richting
Gent.*

- ‘Wat-als ?’-scenario
 - intern praktisch *niet* mogelijk in tunnelkoker,
 - extern *wel* mogelijk door gebruik van pechstrook.
- *Geen* significante verschillen in doorstroming, gemiddelde snelheid en dichtheid.



Nutteloze investering !

Indien men indertijd een vierde vak beschikbaar had gemaakt, wat zouden dan de gevolgen hiervan zijn ?

Men verwachtte toen immers niet dat de verkeersdrukte zo sterk exponentieel zou toenemen.

- Bij het *gebruik van de pechstrook* moet wel opgemerkt worden dat de veiligheid hierdoor in het gedrang kan komen aangezien de hulpdiensten nu niet meer snel ter plaatse kunnen zijn via conventioneel transport.
- *Geen significante verschillen* in de drie grootheden :
 - De simulator heeft evenveel werk bij 3 of 4 vakken, hij kan dus *niet méér* voertuigen genereren.
 - Het grotere verkeersvolume kan niet genereerd worden, dus worden de voertuigen over meer vakken verspreid.

Het gebruik van een extra vak :

- **werpt volgens mij geen vruchten af,**
- **is een nutteloze en kostelijke investering,**
- **de verschillen die ik mat zijn te miniem om een belangrijke rol te kunnen spelen.**

Nabeschouwing

- Oorzaak en ontstaan van files \Rightarrow ?
- Invloed van bepaalde factoren op een verkeersstroom \Rightarrow !
- Algemene geldigheid van de hypothesen \Rightarrow ?
- Noodzaak aan verkeersbeheer (*ITS*).



KALIBRATIE IS NOODZAKELIJK !

- Belangrijk is dat het onderzoek in mijn thesis niets vertelt over de oorzaak en het ontstaan van files, er wordt enkel een licht geworpen op de invloed die bepaalde factoren op een verkeersstroom *kunnen* hebben.
- De experimenten werden uitgevoerd onder zeer specifieke omstandigheden : de conclusies zijn – volgens mijn model – geldig aan de Kennedy-tunnel maar niet per se op andere plaatsen.
- *Algemene coördinatie* op grote schaal is nodig om *Intelligente Transport Systemen* te benutten die het verkeer globaal verbeteren, dit leidt tot een efficiënter gebruik van transportmiddelen wat de economie ten goede komt.

Het gebruik van een microscopische simulator is niet zonder zorgen : alle betrokken parameters dienen eigenlijk goed gekalibreerd te worden.

Korte demonstratie

- Beschouwing van de Antwerpse Ring :
 - werkelijke wereld : satellietfoto's,
 - computer : abstract model.
- Simuleren van verkeersstromen :
 - animatiebeelden,
 - rijgedrag (\Rightarrow *validatie*),
 - vergaren van statistische gegevens.
- Eenvoudige werkwijze :
 - \Rightarrow de gordel rond Amsterdam.

- *Antwerpse Ring* : satellietfoto's tonen, kort werken met de *Network Modeler* en het daarmee geconstrueerde computermodel.
- De simulator *Mitrasim* werkt in een client/server-omgeving met *Remote Control* en *Visualizer* en doet maar één ding, simuleren terwijl de *Visualizer* de beelden genereert ⇒ **gedistribueerde rekenkracht**.
- Als voorbeeld van eenvoud : beknopt computermodel van de gordel rond Amsterdam.

Verloop van de demonstratie :

- Eerste slide terug tonen gedurende demonstratie.
- Satellietfoto van het stuk van de Antwerpse Ring tonen.
- *Network Modeler* opstarten met abstract computermodel (toon ook resultaat van netwerk-analyse).
- *Mitrasim*, *Remote Control* en *Visualizer* opstarten (vermeld **client/server**) en demonstreren :
 - scenario opladen en simulator starten,
 - groot overzicht tonen,
 - close-up tonen van driehoek te Linkeroever,
 - close-up tonen van verkeer bij oprit A12/R1,
 - meer informatie en meer detail tonen,
 - kleuren volgens agressie (toon legende).
- Scenario van A10 (Amsterdam) opladen en simulator starten.
- Toon groot overzicht en kleur volgens gemiddelde snelheid en dichtheid.
- Close-up van groot kruispunt (animeer voertuigen).