

## Over management van verkeersmanagement

Ben Immers<sup>1</sup>  
Paul van Koningsbruggen<sup>2</sup>

- 1) TNO Intro  
Postbus 6041  
2600 JA Delft  
bim@intro.tno.nl
- 2) TNO Fel  
Postbus 96864  
2509 JG Den Haag  
paul.vankoningsbruggen@fel.tno.nl

Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 2004,  
25 en 26 november 2004, Zeist

TNO Intro nummer 04-7P-014

---

## **Samenvatting**

*Over management van verkeersmanagement  
Ben Immers en Paul van Koningsbruggen*

Verkeersmanagement is vooral gericht op het realtime bijsturen van verkeer op het wegennetwerk. In de praktijk blijkt dat strategische investeringen in netwerkcapaciteit (netwerkstructuur, lay-out, dimensioneren, etc.) moeilijk tot stand komen. Daarom wordt veel verwacht van de toepassing van verkeersmanagement maatregelen. Het succes van deze aanpak staat echter niet bij voorbaat vast.

In deze bijdrage worden vier aspecten aan de orde gesteld die een cruciale rol spelen bij de (toekomstige) inrichting van verkeersmanagement op het wegennet. Deze aspecten zijn:

- de meerwaarde van het vermijden van congestie
- wie managet het verkeer
- de urgentie van de verkeerssituatie
- samenhang tussen netwerkstructuur en verkeersmanagement

## **Summary**

*Managing Traffic Management  
Ben Immers and Paul van Koningsbruggen*

Traffic management is predominantly geared towards the real-time accommodation of traffic flows in a network. Practice shows that the realisation of strategic investments in network capacity advances with much difficulty. Therefore high hopes are put on the traffic management approach. However, the successful application of traffic management measures is not guaranteed from the very start.

In this paper four issues will be presented that play a crucial role in the successful application of traffic management measures in a network. These four issues are:

- congestion prevention
- who is controlling the traffic
- urgency of the situation
- network structure and the need for coordination

## **Inhoud**

1. Inleiding .....	4
2. De meerwaarde van het vermijden van congestie.....	4
3. Wie managet het verkeer .....	9
4. De urgentie van de verkeerssituatie .....	16
5. De structuur van het netwerk .....	17
6. Conclusies .....	18
Referenties: .....	19

## 1. Inleiding

Verkeersmanagement is vooral gericht op het realtime bijsturen van het verkeer op het wegennetwerk. Maatregelen die in het kader van verkeersmanagement worden toegepast richten zich zowel op de vraag naar vervoer als op het aanbod van capaciteit en vervoerdiensten. Het doel dat men wil bereiken kan zowel in generieke als in specifieke termen worden beschreven, zoals:

- beperking van de omvang van de congestie;
- verkeersveilige afwikkeling van het verkeer;
- prioriteit voor het vrachtverkeer op de relatie Rotterdam - Roergebied;
- maximale doorstroming voor verkeer op de relatie Amsterdam-Schiphol;
- etc.

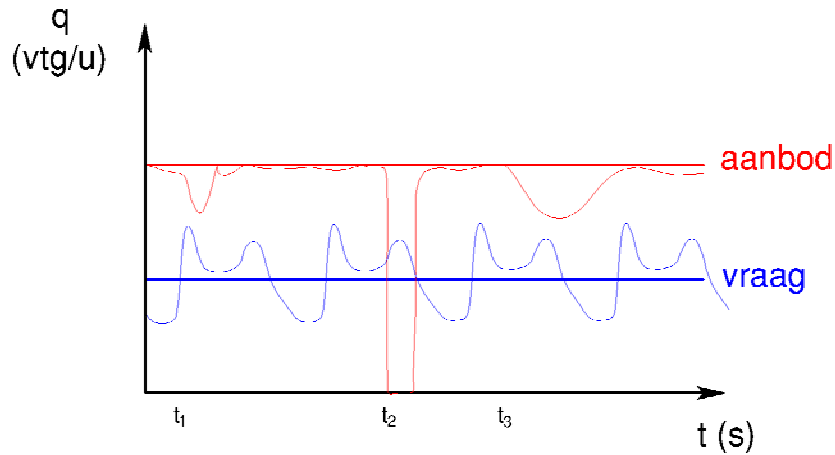
Achtereenvolgens zullen in deze bijdrage vier aspecten aan de orde worden gesteld die een cruciale rol spelen bij de (toekomstige) inrichting van verkeersmanagement op het wegennet. Deze aspecten zijn:

- de meerwaarde van het vermijden van congestie
- wie managet het verkeer
- de urgentie van de verkeerssituatie
- samenhang tussen netwerkstructuur en verkeersmanagement

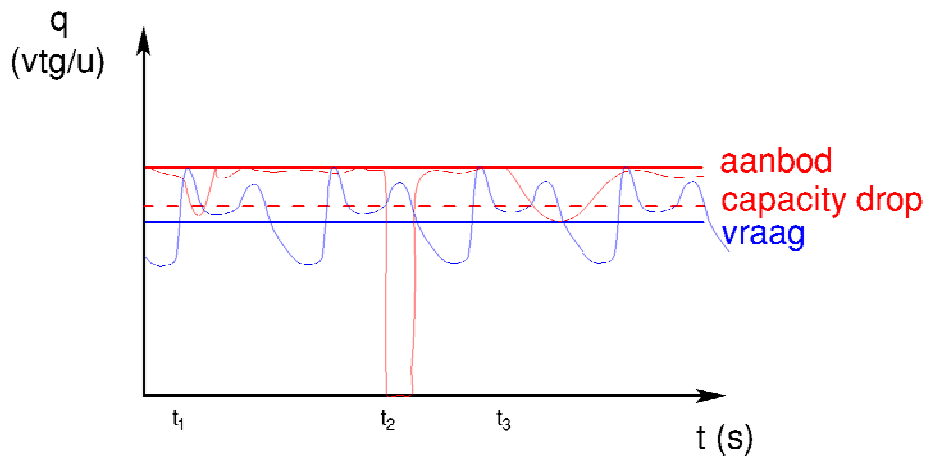
## 2. De meerwaarde van het vermijden van congestie

In figuur 1 is schematisch het verloop weergegeven van de vraag- en aanbodcurve op een wegvak. De dikke lijnen representeren de gemiddelde waarden van vraag en aanbod. In het onderhavige geval ligt de gemiddelde waarde van het aanbod ruim boven de gemiddelde waarde van de vraag. De kans dat congestie optreedt op het wegvak is klein maar, zoals middels de dunne lijnen is aangegeven, zowel vraag- als aanbodcurve fluctueren in de tijd. Bijgevolg treedt zo nu en dan toch congestie op, bijvoorbeeld als gevolg van een incident ( $t_2$ ). Figuur 2 geeft een situatie weer waarbij de gemiddelde waarden van vraag- en aanbodcurve dicht bij elkaar liggen. Op een wegvak waar een dergelijke situatie kan worden waargenomen zal, als gevolg van fluctuaties in vraag en aanbod ( $t_1$  = een ongeval op de andere rijbaan,  $t_2$  = een incident op de rijbaan en  $t_3$  = een regenbui) veel vaker de capaciteit worden overschreden en zal veel vaker sprake zijn van congestie.

Verkeersmanagement maatregelen kunnen ingezet worden om fluctuaties in vraag en aanbod te beperken of zodanig te beïnvloeden dat de vraag minder vaak de capaciteit zal overschrijden. Maatregelen waar men aan kan denken zijn: toeritdosering, verstrekken van tijd- en plaats- en persoonsgebonden informatie aan de reiziger, routekeuzeadvies, flexibele rijstrookindeling, snelheidsadvies, etc..

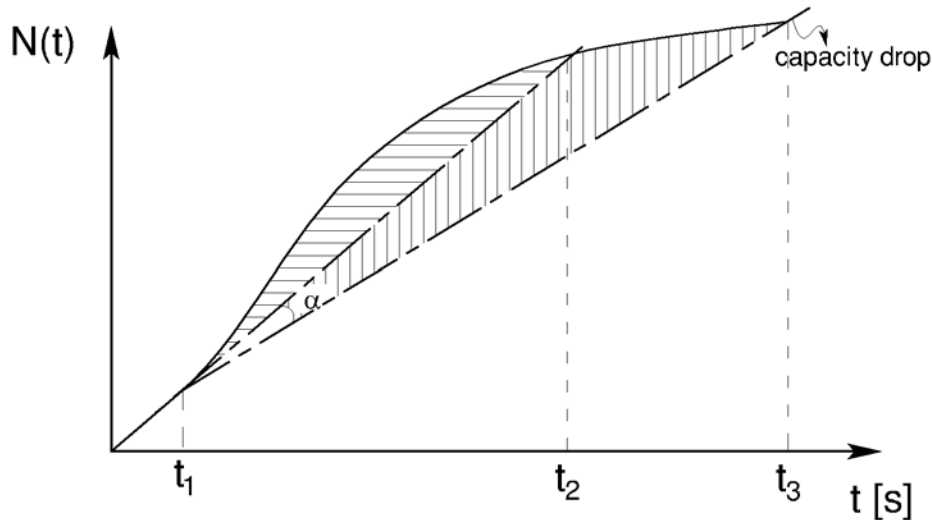


Figuur 1: Verloop vraag- en aanbodcurves op een wegvak



Figuur 2: Verloop vraag- en aanbodcurves op een zwaar belast wegvak

Dat het zinvol is te voorkomen dat de vraag groter wordt dan het aanbod (de capaciteit) is weergegeven in figuur 3. In deze figuur is op de horizontale as de tijd en op de verticale as het cumulatieve aantal voertuigen weergegeven. De hoek die de aankomstcurve en vertrekcurve maken met de x-as geeft (afhankelijk van de beschouwde curve) de aankomstintensiteit (vraag) resp. de vertrekintensiteit (aanbod, capaciteit) weer. Op het moment  $t_1$  wordt de vraag groter dan de capaciteit met als gevolg dat een file ontstaat. In de figuur is middels het horizontaal gearceerde gedeelte de omvang van de optredende congestie weergegeven. Afhankelijk van het moment van aankomst, geven lijnen evenwijdig aan de x-as aan hoe lang een voertuig in de file staat en lijnen evenwijdig aan de ij-as de lengte van de file.

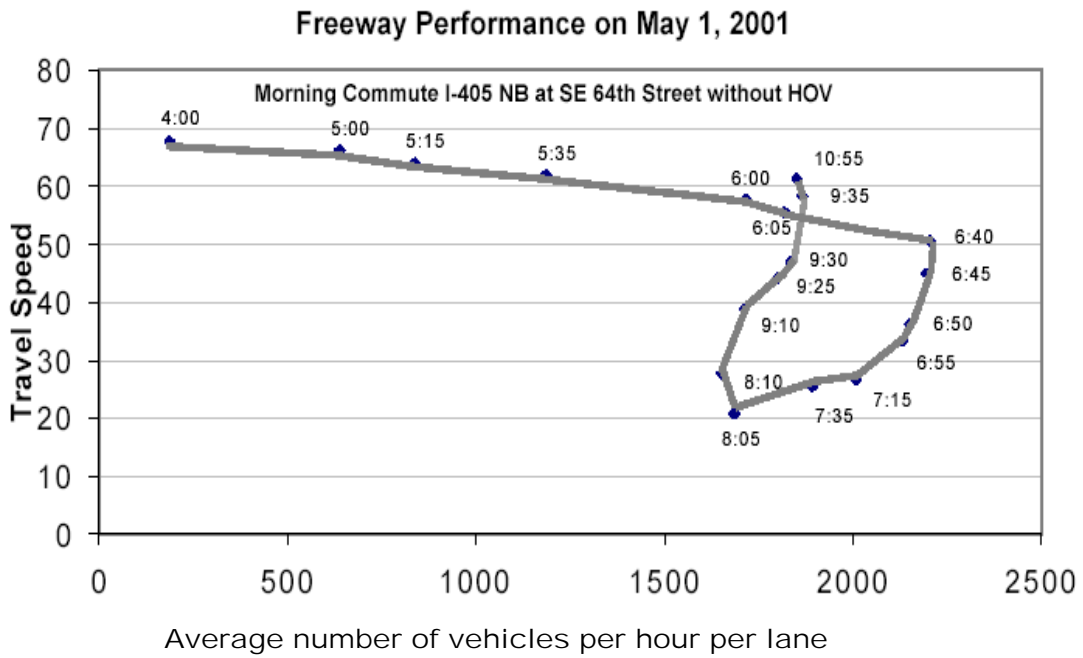


Figuur 3: Omvang van de congestie op een wegvak, zonder en met capacity drop

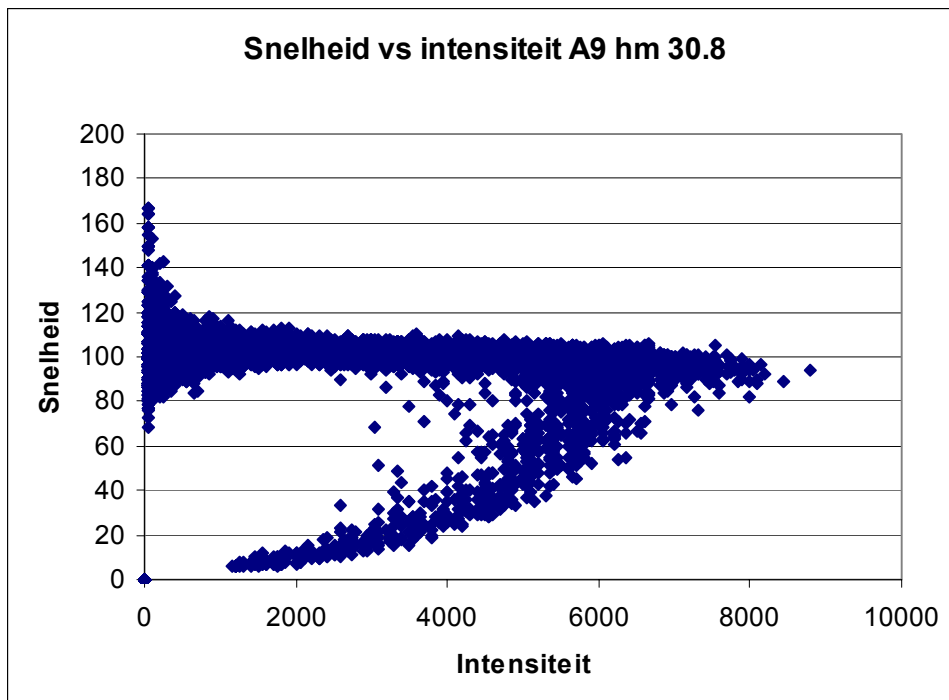
In de figuur is nog een tweede lijn getrokken (capacity drop). Deze lijn maakt een hoek  $\alpha$  met de vertrekintensiteit (capaciteitslijn). Deze lijn geeft het verlies weer aan capaciteit vanaf het moment dat het verkeer stilstaat op een wegvak. De extra terugval in de capaciteit wordt veroorzaakt door hysteresis, een transitie in de verkeersafwikkeling. Om een indicatie te geven van de omvang van dit effect: de capaciteit van een rijstrook van een autosnelweg (stromend verkeer) bedraagt 2200 à 2400 pae per uur. Zodra het verkeer stilstaat bedraagt de (vertrek)capaciteit van dezelfde rijstrook 1800 pae per uur. Het verlies aan capaciteit blijft voortduren zolang er een file staat op de weg. Pas na het tijdstip  $t_3$  kunnen weer de hoge waarden van de capaciteit worden waargenomen. Het verticaal gearceerde gedeelte geeft het extra tijdverlies weer dat een gevolg is van de capacity drop. In figuur 2 is middels de gestippelde lijn de waarde van de capacity drop weergegeven. Als vraag- en aanbodcurve dicht bij elkaar liggen wordt de mogelijkheid van de verkeersstroom om zich te herstellen (hoge capaciteitswaarde) steeds kleiner. In figuur 4 is een illustratie van het hysteresis verschijnsel weergegeven voor een Amerikaanse freeway (I-405). Deze figuur is zo interessant omdat naast de vorm van de kromme ook aangegeven is op welk tijdstip van de ochtendspits een bepaalde afwikkelingskwaliteit (snelheid) wordt geboden. Ruim na 9 uur begint de verkeersstroom zich te herstellen. In de figuren 5 en 6 is hetzelfde verschijnsel weergegeven voor de A9 en A16.

Gelet op de omvang van de capacity drop is het interessant verkeersmanagement maatregelen in te zetten met behulp waarvan het optreden van dit fenomeen kan worden voorkomen. Een tweede benadering zou erop gericht kunnen zijn de omvang van de capaciteitsval te verminderen (het verhogen van de vertrekcapaciteit van een file). Voornamelijk is hier weinig onderzoek naar gedaan.

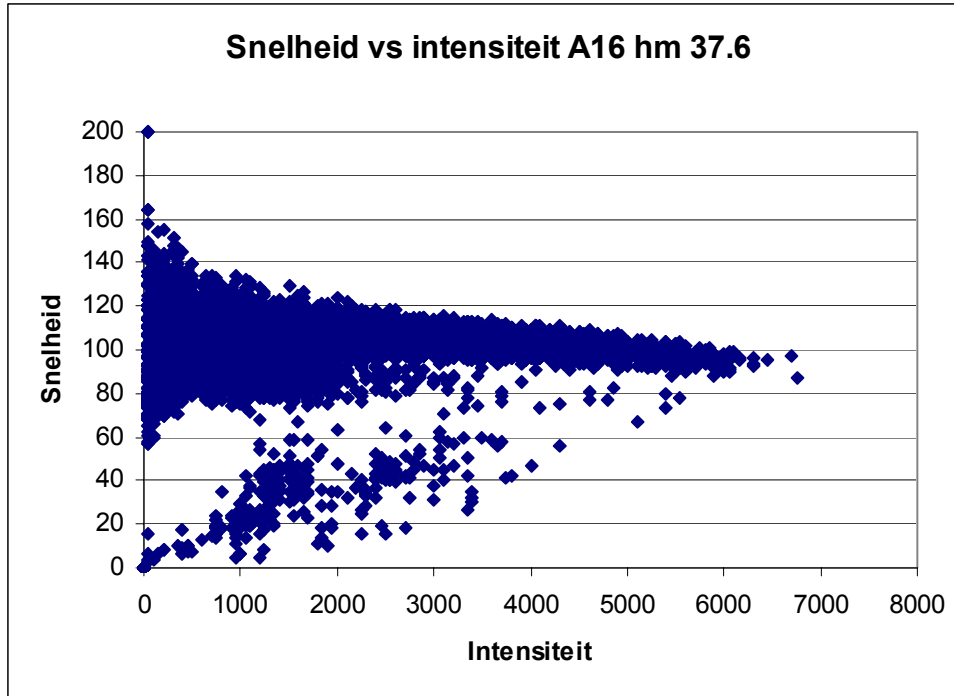
In figuur 7 is het verschijnsel nogmaals weergegeven maar nu gebaseerd op gegevens van de E17 (Gent – Antwerpen; capaciteit weergegeven in voertuigen per rijbaan, waarbij 1 rijbaan = 3 rijstroken).



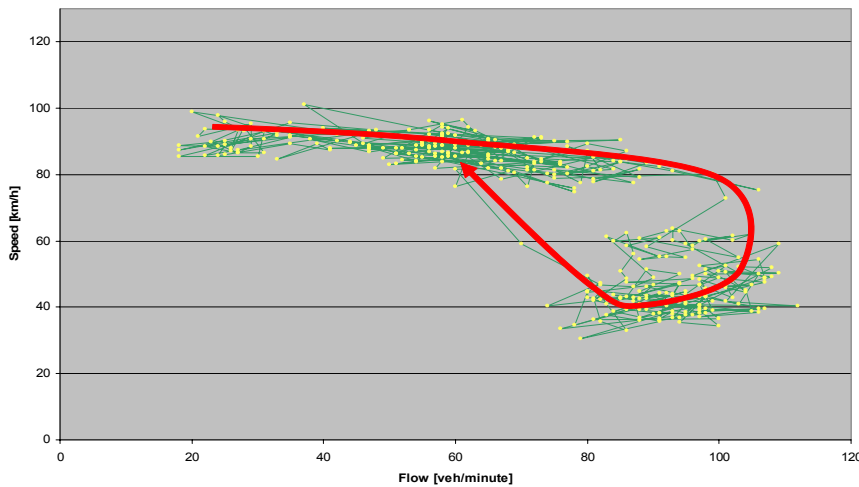
Figuur 4: Illustratie van capacity drop op I-405



Figuur 5: Verband tussen snelheid en intensiteit op A9



Figuur 6: Verband tussen snelheid en intensiteit op A16



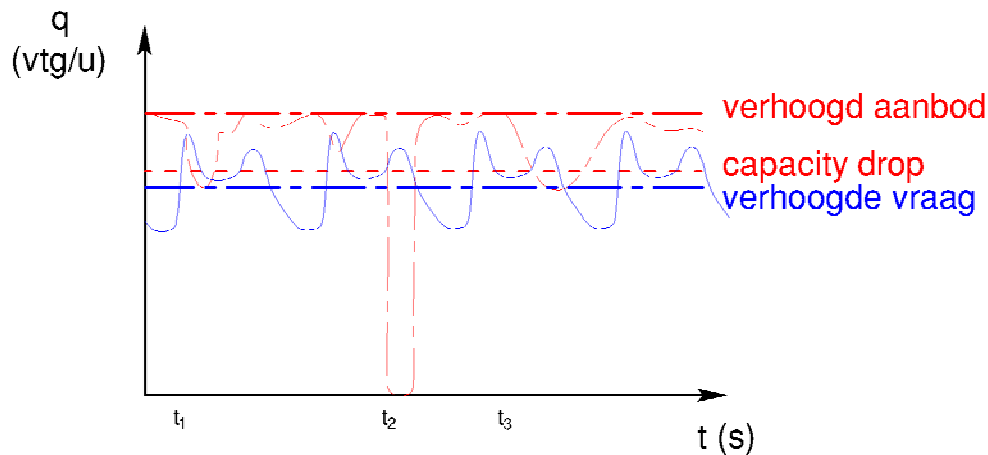
Figuur 7: Hysteresis waargenomen op de E17

In figuur 8 is weergegeven welke effecten verwacht mogen worden van de omvangrijke maatregelen gericht op het 'beter benutten' van de capaciteit van het netwerk (bijv. de invoering van de spitsstrook). Door de introductie van deze maatregelen wordt de capaciteit tijdelijk verhoogd waardoor ook een grotere vraag kan worden verwerkt. Een



nadeel van deze benadering is dat de aanbodfunctie kritischer wordt voor verstoringen. Dit betekent dat kleine verstoringen in de verkeersafwikkeling eerder congestie tot gevolg zullen hebben en dat de gevolgen groter zullen zijn, zowel wat betreft de duur van de verstoring als de omvang van de terugval in capaciteit die een gevolg is van de verstoring.

Dit gegeven kan heel vervelende gevolgen hebben indien vraag- en aanbodfunctie dicht tegen elkaar aanliggen (weinig reservecapaciteit).



Figuur 8: Gevolgen van 'beter benutten' capaciteit netwerk

### 3. Wie managet het verkeer

Bij de toepassing van verkeersmanagement op het wegennet kunnen diverse belanghebbende partijen (stakeholders) worden onderscheiden:

- het nationale/regionale verkeerscentrum
- het lokale verkeerscentra
- de publieke dienstverleners (politie, brandweer, ambulance, etc.)
- de particuliere dienstverleners (berger, wegrestaurant, tankstation, etc.)
- de weggebruikers, reizigers (personenauto)
- de vervoerder van goederen
- de omwonenden
- etc.

Welke belangen moeten nu prevaleren bij het nemen van beslissingen omtrent de realtime bijsturing van het verkeer. Afgezien van de toegekende prioriteiten kunnen in ieder geval drie verschillende optima worden gerealiseerd:

- een systeemoptimum waarbij een afweging wordt gemaakt op het niveau van de samenleving van alle gewogen collectieve kosten en baten

- een netwerkoptimum waarbij de verkeersafwikkeling (vanuit het verkeerscentrum) zodanig wordt beïnvloed dat een generieke doelstelling (bijv. de totale reistijd in het systeem) wordt geoptimaliseerd
- een gebruikersoptimum waarbij elke gebruiker zijn eigen doelstellingsfunctie(bijv. eigen reistijd) optimaliseert.

Daarnaast kunnen uiteenlopende prioriteiten t.a.v. de aard, inrichting en kwaliteit van de verkeersafwikkeling worden gehanteerd die elk weer tot een andere realisatie zullen leiden, zoals:

- hoge prioriteit voor de verkeersveiligheid: verdubbel uw afstand en halveer uw snelheid!
- hoge prioriteit voor verkeer op autosnelweg: doseren van toeleidend verkeer, buffers op onderliggende wegennet;
- hoge prioriteit voor de leefbaarheid: snelheidsverlaging op autosnelweg
- hoge prioriteit voor een doelgroep: inrichting doelgroepstrook, beïnvloeding verkeerslichten (openbaar vervoer)
- etc.

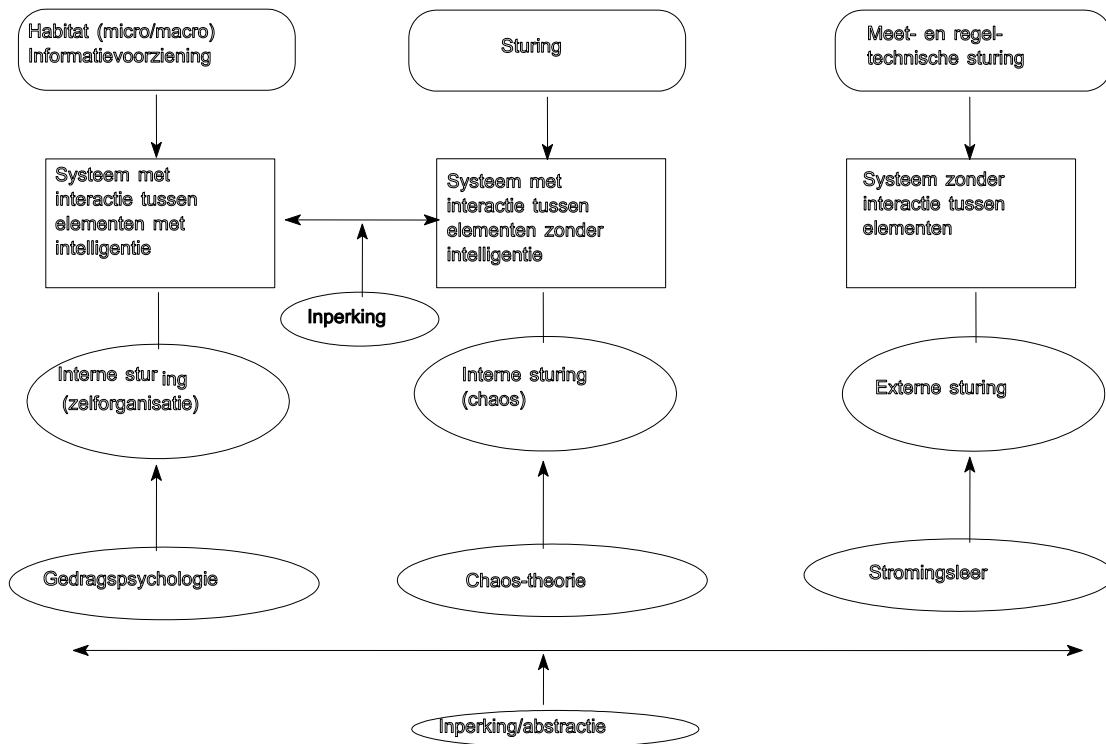
Het is belangrijk te beseffen dat het samenspel tussen de verschillende actoren uitmond in de waargenomen verkeersafwikkeling. In het kader van Incident Management is dit samenspel samengevat onder de slogan  $IM = O6$  of  $IM = (CO)6$  waarbij de O's staan voor de verschillende betrokken organisaties en de C's voor Collaboration, Coordination, Communication, Culture, Commitment en Costs.

In figuur 9 zijn drie mogelijke beschrijvingen van de verkeersstroom weergegeven. Het verschil tussen de drie onderscheiden regimes kan worden verklaard aan de hand van de omvang van de interacties tussen de componenten (waaronder de stakeholders) behorende tot het systeem en de hoeveelheid intelligentie die in de componenten van het te besturen systeem is opgeslagen.

De afwikkeling van het verkeer op het wegennet (het verkeersafwikkelingsproces) wordt beschouwd als het primaire proces van het verkeerssysteem. Kenmerken van het primaire proces zijn de snelheid van verplaatsing, de kans op incidenten, het rijcomfort, etc. De individuele verkeersdeelnemers worden beschouwd als de primaire componenten van het verkeerssysteem. Daarnaast zijn ook de wegbeheerder/verkeersregelaars en de hulpdiensten componenten van het verkeerssysteem.

De figuur laat zien dat de bestuurbaarheid van het verkeersproces in belangrijke mate wordt bepaald door de volgende twee karakteristieken:

- de mate van interactie tussen de verschillende systeemcomponenten, en
- de intelligentie van de systeemcomponenten.



Figuur 9. Systematische weergave van de mogelijkheden en principes voor sturing van het verkeerssysteem op de korte termijn

### ***Interacties tussen systeemcomponenten***

Interactie houdt in dat de toestand van een systeemcomponent van invloed is op het functioneren van andere systeemcomponenten. Een voorbeeld van een korte termijn interactie is het keuzeproces van reizigers dat voortdurend beïnvloed wordt door keuzes van andere reizigers. Dit geldt bijvoorbeeld voor de rijsnelheid en het inhaalgedrag. Een ander voorbeeld is de kijkersfile naar aanleiding van een ongeval. Interacties die plaatsvinden op de middelkorte termijn hebben o.a. betrekking op vervoerwijzekeuze, routekeuze en vertrektijdstipkeuze.

Indien de componenten van het te besturen systeem ‘dood’ zijn, d.w.z. niet intelligent en niet zelf kiezend, is het mogelijk het functioneren van het systeem door middel van externe besturing sterk te beïnvloeden. Dit zal beter lukken naarmate er minder interacties plaatsvinden tussen de elementen/componenten van het systeem resp. wanneer de optredende interacties eenvoudig te beschrijven zijn en slechts een lokaal effect genereren.

Naarmate de interacties<sup>2</sup> tussen de componenten toenemen dient het verkeersproces omschreven worden als een complex niet-lineair proces. De myriade van lokale interacties bepaalt het uiteindelijke globale verloop van het proces (het functioneren van het systeem). Een belangrijk kenmerk van complexe niet-lineaire processen is dat er niet of nauwelijks nog sprake is van een relatie tussen het functioneren van de afzonderlijk systeemcomponenten en het functioneren van het systeem in zijn totaliteit. Vertaald naar het verkeersproces betekent dit dat bestuurders van auto's afzonderlijk, voor hun eigen situatie, optimale beslissingen nemen. Het resultaat hiervan op een hoger abstractieniveau is veelal een suboptimaal functionerend transportsysteem.

### ***Intelligentie van de componenten***

Een tweede onderscheid dat bij de beschrijving van het systeem (en de daarin optredende processen) gemaakt dient te worden is de mate waarin de individuele componenten beschikken over een eigen intelligentie. De componenten kunnen in het ene uiterste geval bestaan uit dode materie en in het andere geval uit intelligente wezens. In het huidige verkeerssysteem is vooralsnog sprake van de laatstgenoemde categorie. Deze karakterisering<sup>3</sup> van het verkeersafwikkelingsproces als een complex niet-lineair proces waarbij de componenten beschikken over een hoge eigen intelligentie vormt het uitgangspunt voor de zoektocht naar geschikte sturingsinstrumenten. Bovenstaande kenmerken impliceren dat de verkeersafwikkeling in een netwerk in belangrijke mate het karakter heeft van een zelfregulerend systeem (een levend systeem).

---

<sup>2</sup> Mogelijke optredende interacties zijn:

- interacties werken alleen op korte afstanden (botsing)
- interacties zijn 'eenvoudig' te beschrijven door wetten, geldig voor alle elementen
- er is alleen sprake van 'paar' of 'buur-buur' wisselwerking, de elementen verder weg doen niet mee; er is geen 'collectieve' wisselwerking en geen hysteresis
- de interactie zelf is onafhankelijk van de omgeving of 'habitat'.

<sup>3</sup> Het gedrag van verkeersdeelnemers kan als volgt worden gekarakteriseerd:

- beïnvloedbaar (door informatie of door gedrag van anderen),
- (enerzijds) exploratief omdat via opvoeding is bijgebracht dat actief exploreren wordt beloond,
- (anderzijds) satisficing (men neemt vrij snel genoegen met een gemaakte keuze, men blijft niet voortdurend optimaliseren),
- retro-rationaliserend (achteraf kunnen alle acties beredeneerd worden),
- gesteund door ervaring; er is sprake van leereffecten (ervaring, gewoontegedrag),
- een zekere mate van rationaliteit (met grote verschillen tussen verkeersdeelnemers en zelfs per verkeersdeelnemer afhankelijk van tijd, stemming),
- strategisch; men werkt vaak volgens een bepaalde strategie (bij congestie linker rijstrook kiezen); werkt die niet dan kiest men voor een andere strategie,
- conflicten vermijdend; botsingen wil men zoveel mogelijk voorkomen.

In tabel 1 zijn zowel de sterke als de zwakke punten van een zelfregulerend systeem aangegeven.

**Tabel 1.** Karakteristieken van zelfregulerende systemen ('Swarm models'; bron: 'Out of Control - the new biology of machines', Kevin Kelly, 1995)

<b>Sterke punten van zelfregulerende systemen</b>	<b>Zwakke punten van zelfregulerende systemen</b>
Kunnen zich aanpassen aan de omgeving	Zijn niet-optimaal, vanwege de omvangrijke redundantie en het ontbreken van een controlestructuur
Kunnen zich verder ontwikkelen in de tijd	Zijn niet controleerbaar vanwege het ontbreken van autoriteit
Beschikken over herstellend vermogen	Zijn moeilijk tot niet voorspelbaar in hun gedrag
Kunnen nieuwe structuren doen ontstaan	Zijn moeilijk tot niet begrijpbaar, ondermeer vanwege hun vermogen nieuwe structuren te doen ontstaan en nieuwe oplossingen te genereren
Kunnen nieuwe oplossingen genereren voor bestaande of nieuwe problemen	Reageren vertraagd op gebeurtenissen door het ontbreken van een eenduidige controlestructuur

Essentieel voor het functioneren van een levend systeem zijn de twee volgende kwaliteiten:

- de aard en omvang van de communicatie tussen de verschillende systeemcomponenten;
- de capaciteit van het systeem (en de systeemcomponenten) om te leren.

### ***Sturingsmogelijkheden***

De uitdagende opgave waar we voor gesteld staan met betrekking tot het regelen (managen) van het verkeer in een netwerk is hoe, gegeven het zelfregulerende karakter van het verkeer, de verkeersstroom conform een gewenste kwaliteit kan worden afgewikkeld.

Op grond van de beschrijving van de verschillende soorten processen en de karakterisering van het huidige verkeersproces kunnen mogelijkheden voor sturing/beïnvloeding van het verkeersproces worden aangegeven.

Deze sturing kan op verschillende wijzen en op verschillende plaatsen in het systeem aangrijpen.

### *Levend, zelforganiserend systeem*

Een eerste mogelijkheid tot sturing die hier wordt besproken is de beïnvloeding van het gedrag van de componenten zonder daarbij de karakteristieken van het proces te veranderen.

Dit laatste houdt in dat er sprake blijft van een zelforganiserend systeem met intelligente componenten. In de bijdrage “Verkeer en zelforganisatie” worden drie mogelijke vormen van zelfregulering in de verkeersafwikkeling uitgewerkt:

- het plaatsen van de context en het aanpassen van het verkeer aan deze context
- inregelen van de context
- verkeer schept zijn eigen context: het medium als boodschapper van de context

Voor een verdere uitwerking van deze benadering wordt verwezen naar “Verkeer en Zelforganisatie [van Koningsbruggen en Immers, 2002].

In deze bijdrage zullen ter illustratie twee onderdelen van een context worden beschreven:

- wijziging habitat (omgeving),
- informatieverschaffing.

Wijziging van de habitat kan op micro en op macro niveau. Op micro niveau kan dit o.a. gerealiseerd worden door middel van:

- optic flow, bijv. strepen die op een wisselende afstand in of buiten het directe gezichtsveld van de bestuurder worden aangebracht met het oogmerk vermindering van de snelheid;
- beïnvloeding overige zintuigen: geluid (muziek, wordt elders al veel toegepast), reuk, tast (trillingen).

Mogelijkheden om op macro niveau de habitat te wijzigen zijn:

- dimensionering infrastructuur;
- landschappelijk inpassing, wijziging 'rijcultuur', wijziging omgangsvormen in het verkeer.

Sturing van het verkeerssysteem door informatieverschaffing luistert erg nauw.

Interessant en kansrijk is het om de informatieverschaffing toe te spitsen op de dynamische aspecten van het verkeer (tijd, plaats en profiel van de reiziger). Indien men bovendien in staat is de eenzijdige oriëntatie van de informatieverschaffing te doorbreken (in plaats van verkeerscentrum naar reiziger ook van reiziger naar verkeerscentrum en van reiziger naar reiziger), ondersteunt de informatieverschaffing een belangrijke mate het proces waarin het systeem (en de systeemcomponenten) de vaardigheid opbouwt om te leren.

Elementen die bij de invulling van de informatieverschaffing uitgewerkt dienen te worden zijn:

- betrouwbaarheid van de informatie
- actualiteit van de informatie
- volledigheid van de informatie
- response rate van de reiziger

Belangrijk is dat informatie correct is en dat de informatie begrepen wordt. Bovendien moet men voorzichtig zijn met een overdaad aan informatie; de bestuurder (en de exploitant/beheerder) moeten in de gelegenheid gesteld worden de voor hen relevante informatie tot zich te nemen; niet relevante informatie dient hen zoveel mogelijk onthouden te worden. Aanbevolen wordt vooral die informatie te verschaffen die de reiziger nu al gebruikt. Toepassing van de bovengenoemde maatregelen vereist inzicht in psychologie van de individuele bestuurder/reiziger en inzicht in het gedrag van groepen.

#### *Beperking van de intelligentie van de primaire componenten*

Wil men niet volledig vasthouden aan de karakteristieken van het bestaande systeem dan komen ook andere vormen van sturing in aanmerking. Een van de mogelijkheden die zich dan aandient is de beperking van de intelligentie van de primaire componenten (verkeersdeelnemer). De mate waarin de intelligentie wordt weggenomen kan variëren (allerlei vormen van ‘advanced driver assistance’ variërend van ‘adaptive cruise control’ tot ‘autonomous driving’). In het laatste geval is er slechts sprake van een beperkte eigen intelligentie van de primaire component; de systeembeheerder heeft alle belangrijke rijtaken overgenomen. Secundaire taken/intelligentie zoals monitoring kunnen gehandhaafd blijven.

Indien er ondanks de beperking van de intelligentie van de componenten toch veelvuldig interacties optreden tussen de componenten onderling blijft het systeem zich gedragen als een zelforganiserend systeem. Wel zal het in toenemende mate mogelijk zijn sturing toe te passen op het systeem door toepassing van globale sturings- en regelprincipes uit de meet- en regeltechniek. Immers door de intelligentie van de componenten in het systeem weg te nemen wordt het mogelijk de reactie van een component op een gebeurtenis beheersbaar te maken. De afloop van het proces blijft echter onvoorspelbaar door de onvoorspelbaarheid van de optredende interacties en hun effect op het totale proces. In principe zijn de wetten uit de chaostheorie op deze processen van toepassing.

Door de reacties van componenten op gebeurtenissen volledig te beheersen en tevens het proces zodanig te structureren dat activiteiten in een zekere vaste sequentie optreden, wordt een zodanig systeem (procesafwikkeling) gecreëerd dat principes uit de meet- en regeltechniek wel van toepassing zijn.

#### *Kijken op een ander abstractieniveau*

Bij de behandeling van het verkeerssysteem is een abstractieniveau gehanteerd waarbij elke individuele component (elk met een eigen intelligentie) als een afzonderlijke entiteit wordt

onderscheiden. Wordt het verkeerssysteem vanuit een hoger abstractieniveau beschouwd dan gedragen alle componenten zich op identieke (gemiddelde) wijze, waarbij ook de interacties tussen de componenten onderdeel vormen van dit gemiddelde gedrag. Deze beschouwingwijze wordt hier toegepast omdat daardoor de mogelijkheid wordt gecreëerd andere, aanvullende sturings- en regelinstrumenten te vinden voor het verkeerssysteem op een hoger abstractieniveau. Op het hogere abstractieniveau kan het verkeerssysteem beter vergeleken kunnen worden met standaard productie- en bedrijfsprocessen waarop principes uit de meet- en regeltechniek worden toegepast.

Voor het traceren van deze principes is het wel noodzakelijk hetzelfde abstractieniveau te hanteren. Regelprincipes die op een hoog abstractieniveau in productie- en bedrijfsprocessen worden toegepast zijn 'spiegelen' ofwel het inrichten van een backup systeem, het aanbrengen van buffers in de procesgang, het hanteren van order acceptatie procedures, hiërarchische productieplanning etc. Al deze principes kunnen/worden ook in het verkeerssysteem worden toegepast (buffers, doseren, doelgroepstroken, etc.). Het effect van toepassing van deze principes zal groter zijn (resp. men zal beter in staat zijn te beoordelen waar toepassing van deze principes effect sorteert) naarmate het gemiddelde gedrag van een component in overeenstemming is met het individuele gedrag.

#### **4. De urgentie van de verkeerssituatie**

De meerwaarde van verkeersmanagement ligt voor een belangrijk deel in de mogelijkheid die verkeersmanagement maatregelen bieden om kritieke situaties op het wegennet (incidenten, slechte weersomstandigheden, etc.) sneller en/of effectiever op te lossen. Om een effectieve toepassing van DVM maatregelen te faciliteren is het wellicht noodzakelijk de aard van het regime dat van toepassing is op de afwikkeling van de verkeersstroom in bepaalde (kritieke) situaties te wijzigen. Ter plekke van een incident zou een strikte vorm van 'command en control' van toepassing kunnen zijn (nu moet iedereen even precies doen wat door het CTPI is beslist). Deze aanpak kan, met het oog op de gewenste snelheid waarmee een probleem opgelost dient te worden, te prefereren zijn boven een aanpak waarbij het probleem vanuit zelforganiserende principes wordt opgelost. Een mogelijk nadeel van deze rigide aanpak is dat daarmee voorbijgegaan wordt aan een van de belangrijke kenmerken van zelforganiserende systemen en dat is dat deze systemen in staat zijn zelf in kritieke situaties nieuwe innovatieve oplossingen te creëren. De moeilijkheid is dat er geen garantie gegeven kan worden dat een nieuwe oplossing snel gevonden wordt. Het is daarom aan te bevelen de chaotische benadering vooral in experimenten aan bod te laten komen.

Tot slot zij vermeld dat naast de curatieve ook een preventieve benadering van verkeersmanagement mogelijk is. Het belang van deze benadering is reeds aangegeven in paragraaf 2: de meerwaarde van het vermijden van congestie. Ook in de volgende paragraaf komt de preventieve benadering aan bod.



## 5. De structuur van het netwerk

In principe zal een systeem in staat zijn de beoogde functie(s) te blijven vervullen indien vraag en aanbod goed op elkaar zijn (blijven) afgestemd (in dit geval: vraag  $\leq$  capaciteit van de weg). Uitgaande van deze voorwaarde kan de redundantie en daarmee de robuustheid van het transportsysteem op verschillende wijze worden geïmplementeerd, zoals:

- overdimensionering van het aanbod (de capaciteit van een weg of netwerk) zodanig dat altijd aan de vraag wordt voldaan;
- introductie van flexibiliteit in het aanbod, flexibiliteit in de vraag of flexibiliteit in aanbod en flexibiliteit in vraag; door vraag en/of aanbod te kunnen variëren kan flexibel een afstemming worden gerealiseerd tussen vraag en aanbod

Voorts kan Redundantie op verschillende niveaus in een netwerk worden ingebouwd:

- Op strategisch niveau: locatie en concentratie van activiteiten; afstemming wonen, werken, winkelen onderling, netwerkstructuur, vormgeving knooppunten, afstemming activiteitenpatroon en netwerkstructuur. Op dit niveau is het voor de robuustheid van het transportsysteem van belang dat vermeden wordt dat men (gedurende een kortere periode) met sterk geconcentreerde verkeersstromen wordt geconfronteerd. Dit fenomeen wordt veelal veroorzaakt door de inplanting van omvangrijke monofunctionele activiteiten (wonen gescheiden van werken en de pendelstromen die daardoor worden opgeroepen)
- Op tactisch niveau: multimodale verknoping van netwerken en inrichting van multimodale vervoerdiensten waardoor netwerkonderdelen en vervoerwijzen als terugvaloptie van elkaar kunnen fungeren
- Op operationeel niveau: afstemming vraag en aanbod op het verkeersnetwerk; reservecapaciteit in het netwerk, flexibilisering van de beschikbare capaciteit middels ITS en DVM-maatregelen, zelflerende eigenschappen, zelforganisatie.

Momenteel heeft het aanbod van capaciteit in het transportnetwerk een overwegend statisch karakter; zowel de netwerkstructuur als de capaciteiten van de schakels en knooppunten liggen nagenoeg vast. Toeritdosering en de in aanleg zijnde spitsstroken zorgen voor de eerste dynamische elementen. De robuustheid van het transportsysteem kan nog worden vergroot indien het aanbod van capaciteit dynamisch afgestemd kan worden op de vraag. Dit vraagt o.a. om mogelijkheden voor een flexibele inzet van de capaciteit. Vergroting van de flexibiliteit in de toewijzing van de capaciteit kan worden gerealiseerd door:

- stelselmatige opbouw van het netwerk; samenhang in stelsel en onderlinge verknoping stelsels
- netwerkbrede uitwerking alternatieve routes (capaciteit terugvaloptie, omwegfactor, layout en dimensioneren knooppunten)
- verkeersmanagement ter ondersteuning van flexibele aanwending capaciteit netwerk.

## 6. Conclusies

In deze bijdrage wordt een aantal kenmerken van verkeer gepresenteerd die een directe relatie hebben met de maatregelen die ingezet kunnen worden om de verkeersstroom te beheersen. Daarbij dient opgemerkt te worden dat de opsomming van kenmerken niet uitputtend is. Toch kunnen op basis van de beschreven kenmerken enige belangrijke lessen worden getrokken ten aanzien van de organisatie en invulling van verkeersmanagement op het netwerk, zoals:

- In het afwegingsproces rond toe te passen verkeersmanagement maatregelen dient rekening te worden gehouden met veel uiteenlopende belangen. De vraag is of deze afweging door één organisatie gemaakt kan/moet worden en, als dat al zou kunnen, in welke mate de voorgestelde maatregelen zullen worden opgevolgd.
- De effectiviteit van de inzet van verkeersmanagement kan worden vergroot door de focus te richten op het voorkomen en neutraliseren van verstoringen (voorkomen van capacity drop); de mogelijkheden om een dergelijke benadering toe te passen worden aanzienlijk groter indien de structuur en vormgeving van het netwerk beter afgestemd zijn op de wisselende gebruiksomstandigheden.
- Vanwege de vele interacties tussen de verschillende systeemcomponenten dient het verkeers- en vervoerssysteem beschouwd te worden als een zelforganiserend (levend) systeem. Het functioneren van het transportsysteem als zelfregulerend systeem (en verkeersmanagement als onderdeel daarvan) kan verbeterd worden door de lerende capaciteit van het systeem te vergroten. Communicatie tussen de betrokken partijen speelt daarin een cruciale rol. Deze communicatie dient niet beperkt te blijven tot het elkaar informeren maar vooral ook door situaties te evalueren en door de feedback een duidelijke plaats te geven in het proces. De mogelijkheden voor verkeersbeheersing zullen mee moeten groeien met ontwikkelingen in het transportsysteem en met ontwikkelingen in de samenleving (programma van eisen en wensen, prioritering).
- Verkeersmanagement en zelforganisatie staan soms op gespannen voet met elkaar, bijvoorbeeld indien snel een oplossing voor een probleem moet worden gevonden. In de praktijk betekent dit dat afhankelijk van de aard van de situatie andere verkeersmanagementprincipes van toepassing zijn. Voorgesteld wordt in de vorm van experimenten het innovatieve vermogen van een zelforganiserend systeem in kritieke situaties (bijvoorbeeld grote tijdsdruk) te onderzoeken. De opgebouwde kennis kan een grote rol spelen in situaties van transitie (trendbreuk).

## **Referenties:**

Paul van Koningsbruggen en Ben Immers (2002): "Verkeer en Zelforganisatie"  
In: Verdieping van Chaosdenken: Theorie en Praktijk. Redactie: Frans van Eijnatten,  
Marian Kuijs & Julien Hafmans. Koninklijke Van Gorcum, Assen, 2002; ISBN 90 232  
3860 5

L.H. Immers en M. Westerman (1996) ; "Analogieën met verkeer en vervoer met nadruk  
op dynamisch verkeersmanagement". TNO Inro. december 1996, 95/NV/183, 95/NV/297,  
95/NV/311 en 95/NV/310

Immers, L.H. en E.A. Berghout (2000): "Autopoiese en beleidsontwikkeling in het  
verkeers- en vervoersysteem". TNO Inro in opdracht van Ministerie van Verkeer en  
Waterstaat en Rijkswaterstaat AVV. TNO-rapport Inro-VK/2000-05. Delft, december  
2000

Kevin Kelly (1994) "Out of Control - the new biology of machines". Addison-Wesley,  
Reading, MA.

Transportation Research Board (2004). "Addressing Fiscal Constraints and Congestion  
Issues in State Transportation Planning". Transportation Research Circular, Number E-  
C062, February 2004