

Modelgebaseerd Voorspellend regelen van kruispunten

**Toegevoegde waarde ten opzichte van
de huidige praktijk (van VA-regelen)**



INHOUD

- › Regelprincipe: Modelgebaseerd voorspellend regelen (UKACC 2008)
- › Simulatie studies
 - › Amsterdam: Stedelijke streng van geregelde kruispunten (x2)
 - › Rotterdam: Stedelijk kruispunt (TRA 2013),
 - › Helmond: Provinciaal kruispunt (IET 2014 special issue)
- › Veldtest: Provincie Zuid Holland: Een overzichtelijke mix
- › Richting toekomst: de bijdrage van coöperatieve systemen

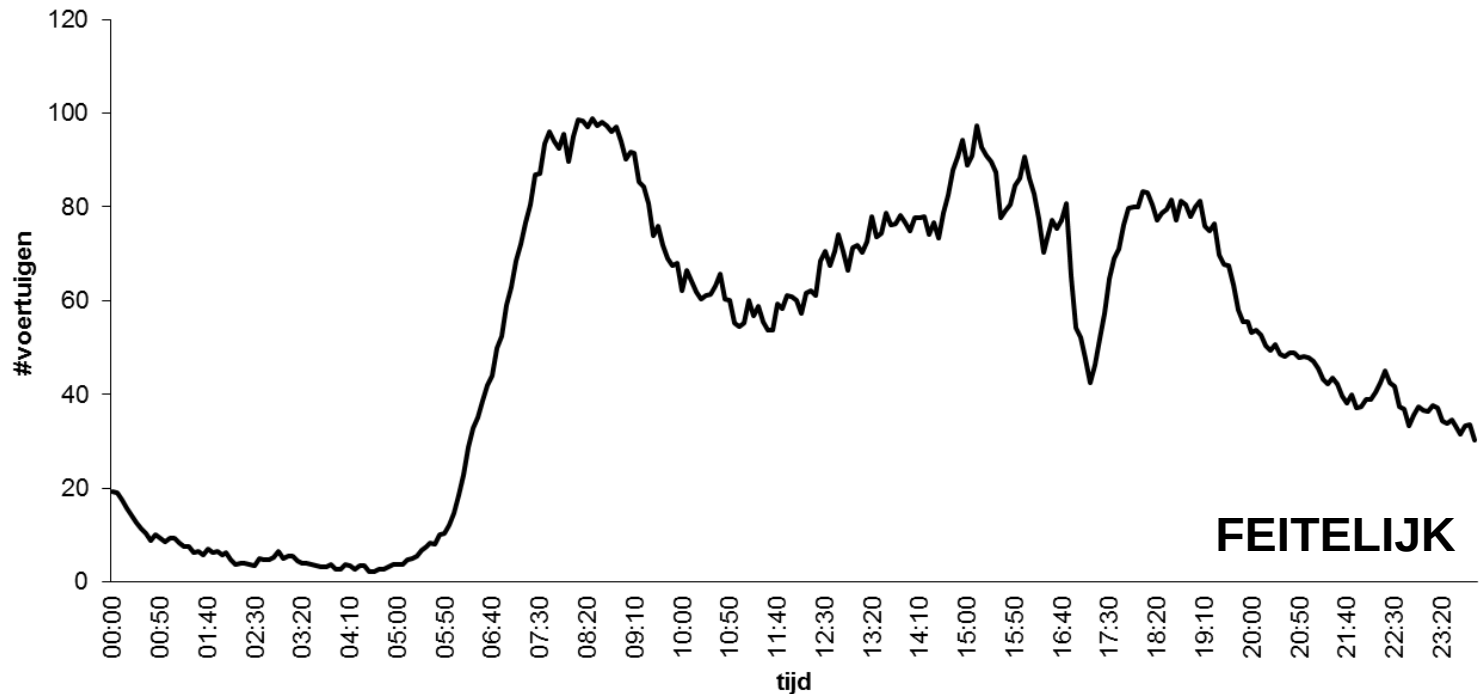
INHOUD

- › Regelprincipe: Modelgebaseerd voorspellend regelen (UKACC 2008)
- › Simulatie studies
 - › Amsterdam: Stedelijke streng van geregelde kruispunten (x2)
 - › Rotterdam: Stedelijk kruispunt (TRA 2013),
 - › Helmond: Provinciaal kruispunt (IET 2014 special issue)
- › Veldtest: Provincie Zuid Holland: Een overzichtelijke mix
- › Richting toekomst: de bijdrage van coöperatieve systemen

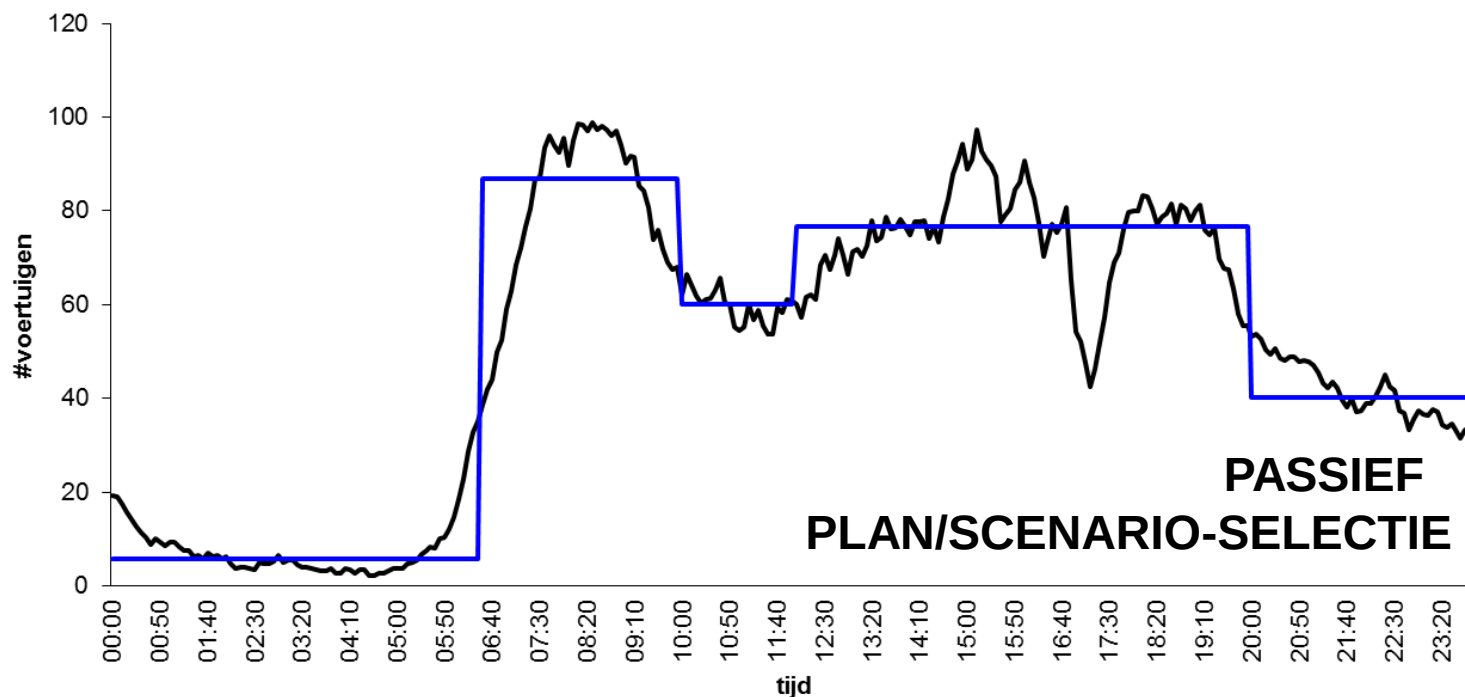
UITGANGSPUNTEN

- › **Management** stelt randvoorwaarden en prioriteiten gegeven een maatschappelijke context.
- › **Regelen** is ervoor zorgen dat hier zo effectief en efficiënt mogelijk gevolg aan wordt gegeven.
- › **Voor beiden geldt:**
 - › “Regeren is vooruitzien”; weet wat er op je af komt

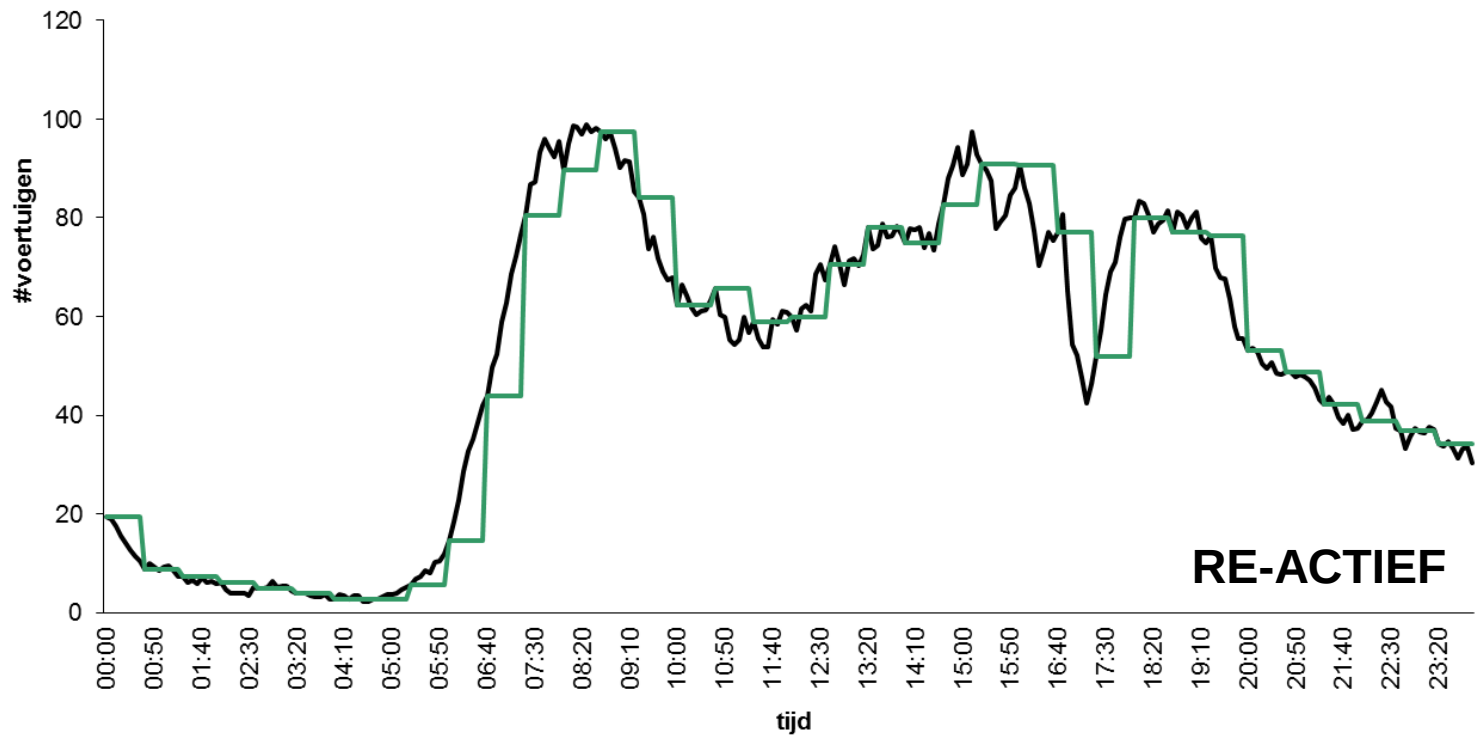
VOORSPELLEND REGELEN: REGEREN IS VOORUITZIEN (1/4)



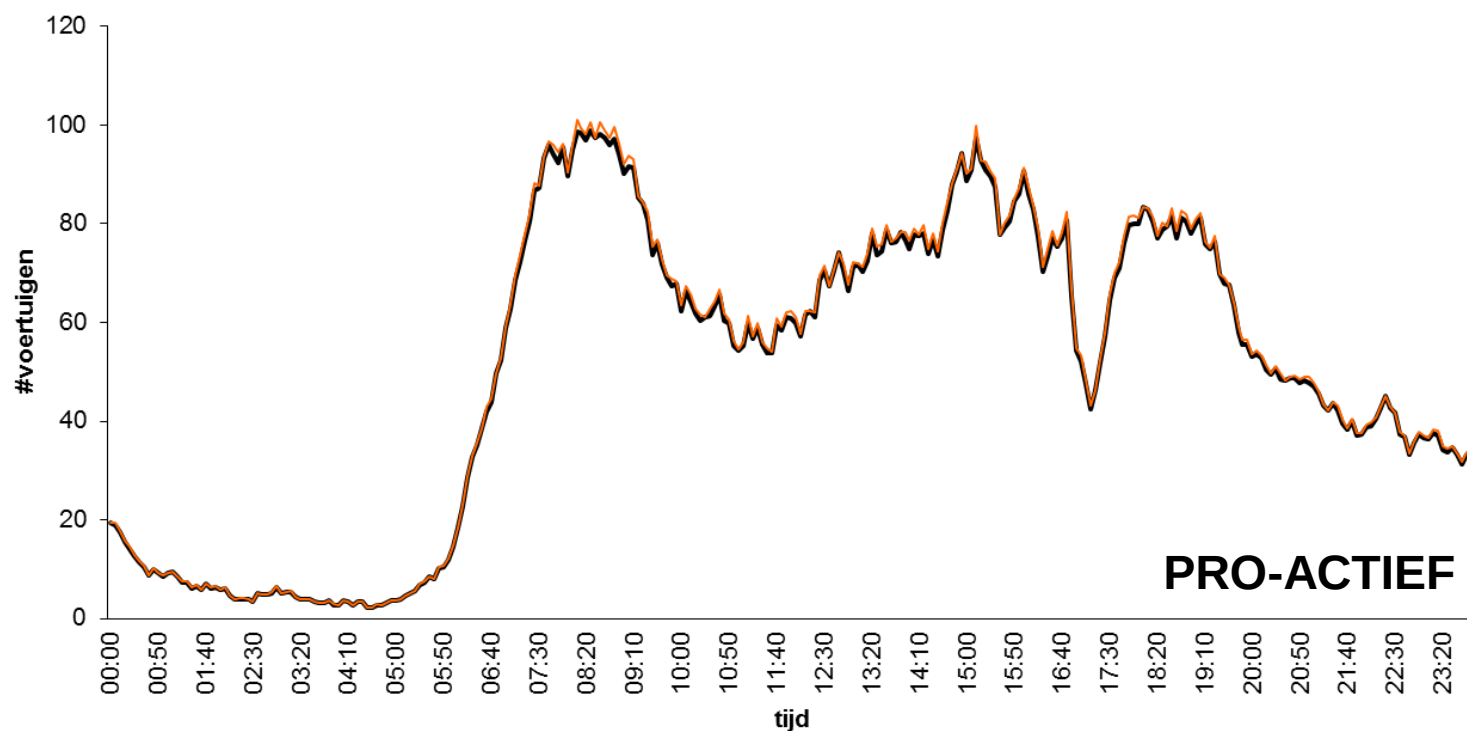
VOORSPELLEND REGELEN: REGEREN IS VOORUITZIEN (2/4)



VOORSPELLEND REGELEN: REGEREN IS VOORUITZIEN (3/4)



VOORSPELLEND REGELEN: REGEREN IS VOORUITZIEN (4/4)



WAT ZIJN DE BEPERKINGEN VAN EEN VOERTUIGAFHANKELIJKE REGELING?

Op basis van gegevens uit het verleden is bepaald:

- › Hoe lang een richting maximaal groen kan krijgen
- › In welke volgorde de richtingen groen krijgen
- › Welke stromen in aanmerking komen voor een “groene golf”.

Maar: resultaten uit het verleden bieden geen garantie voor de toekomst.

Daarnaast hebben de huidige verkeerslichten een beperkt blikveld, waardoor:

- › sprake is van tunnelvisie en kortzichtigheid
- › geen afstemming plaats kan vinden met naburige kruispunten

HOE KAN DIT WORDEN VERBETERD?

- › Door verder weg te kijken
- › Door het hele kruispunt in ogenschouw te nemen
- › Door (waar nodig) acties af te stemmen met naburige kruispunten
- › Door een zorgvuldige afweging te maken tussen alle mogelijke alternatieven

Centraal probleem:

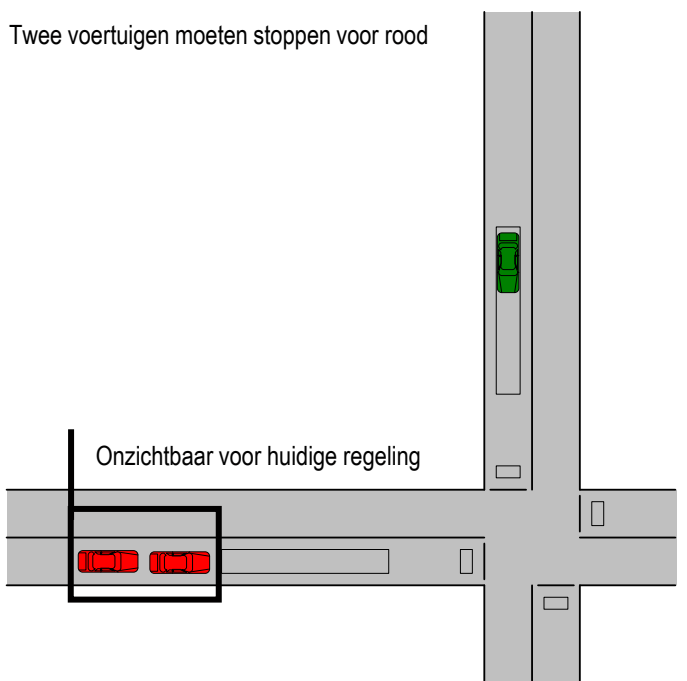
- › Hoe in real-time een (nagenoeg) optimale oplossing te bepalen

Hoe kan dit worden verbeterd?

1. Door verder weg te kijken.

HUIDIGE REGELING

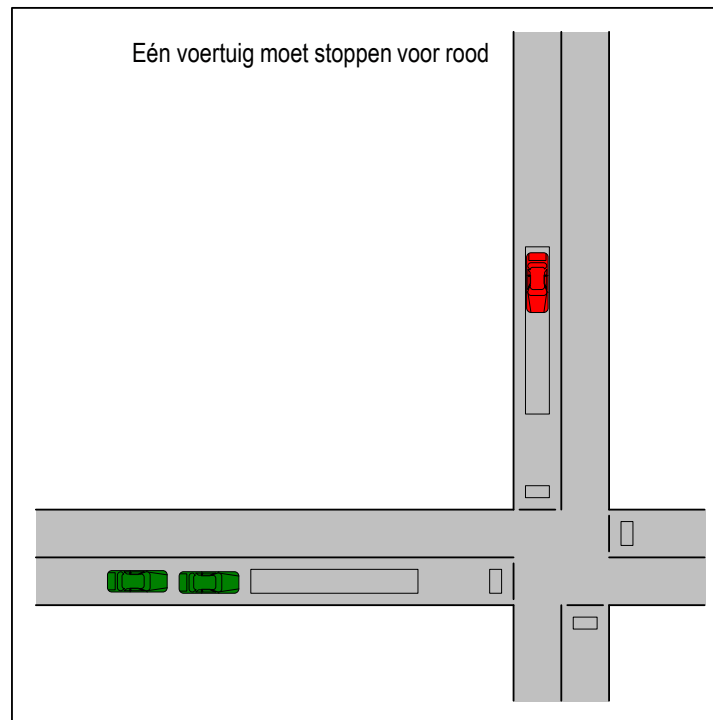
Twee voertuigen moeten stoppen voor rood



voertuig dat moet stoppen voor rood

NIEUWE REGELING

Eén voertuig moet stoppen voor rood

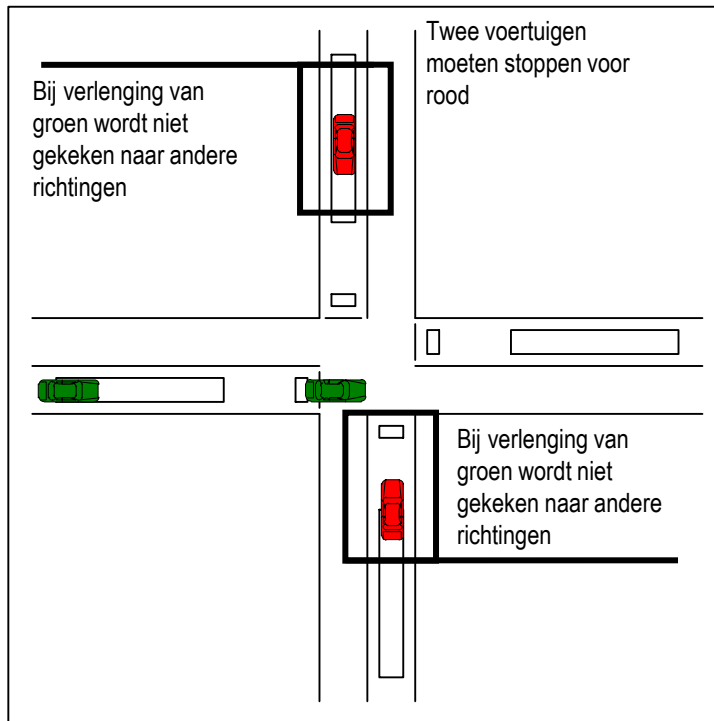


voertuig dat door groen kan rijden

HOE KAN DIT WORDEN VERBETERD?

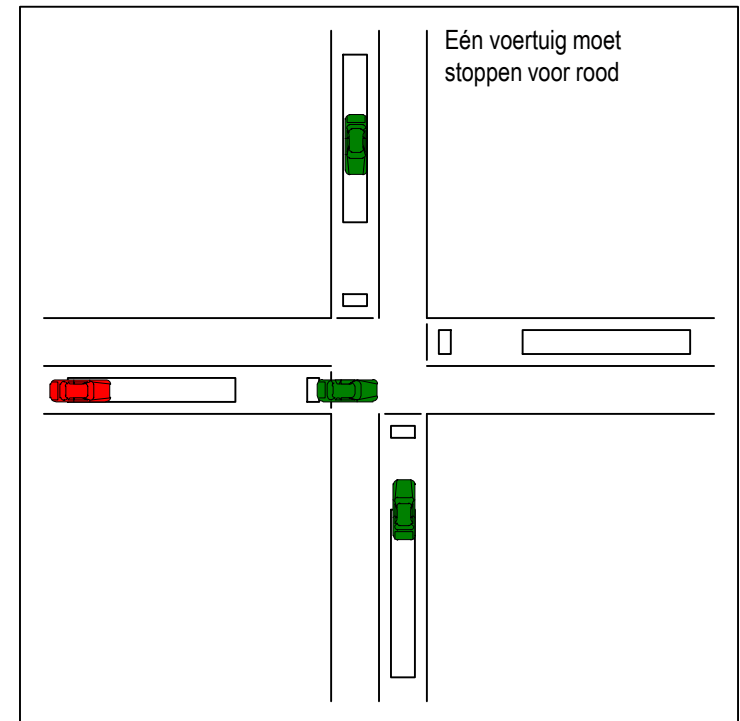
2. Door het hele kruispunt in ogenschouw nemen.

HUDIGE REGELING



voertuig dat moet stoppen voor rood

NIEUWE REGELING

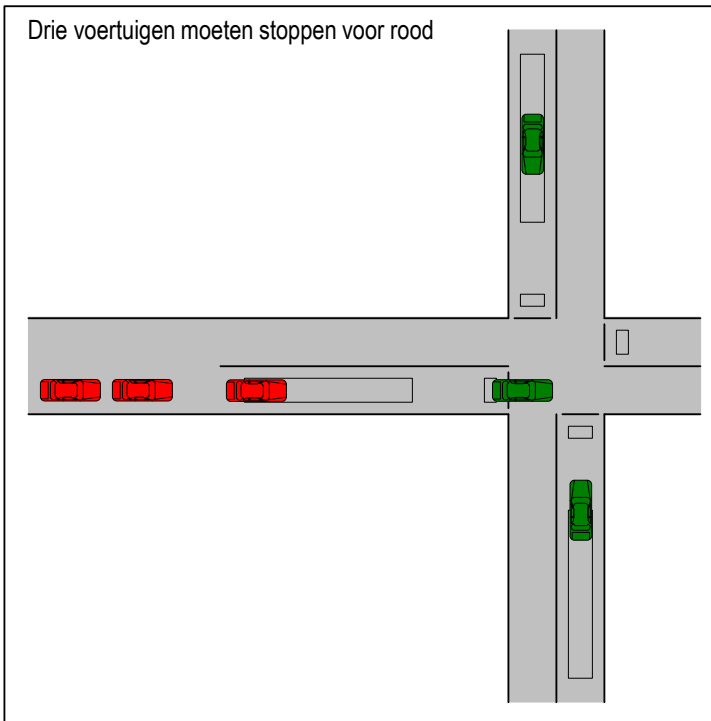


voertuig dat door groen kan rijden

HOE KAN DIT WORDEN VERBETERD?

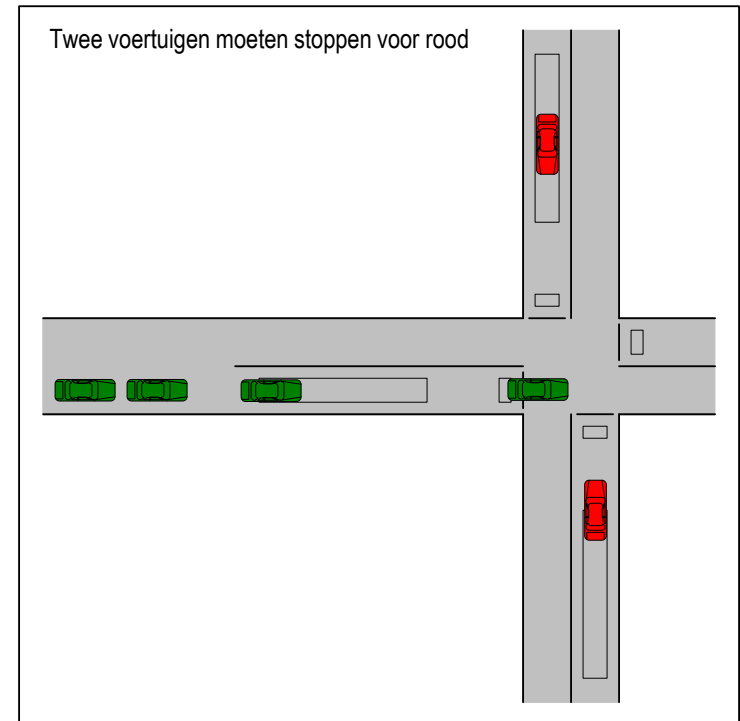
3. Door een zorgvuldige afweging te maken.

ONZORGVULDIGE AFWEGING



voertuig dat moet stoppen voor rood

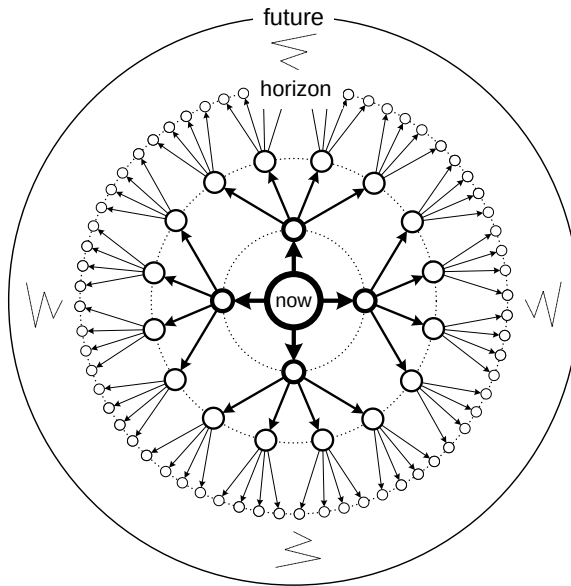
ZORGVULDIGE AFWEGING



voertuig dat door groen kan rijden

HOE KAN DIT WORDEN VERBETERD?

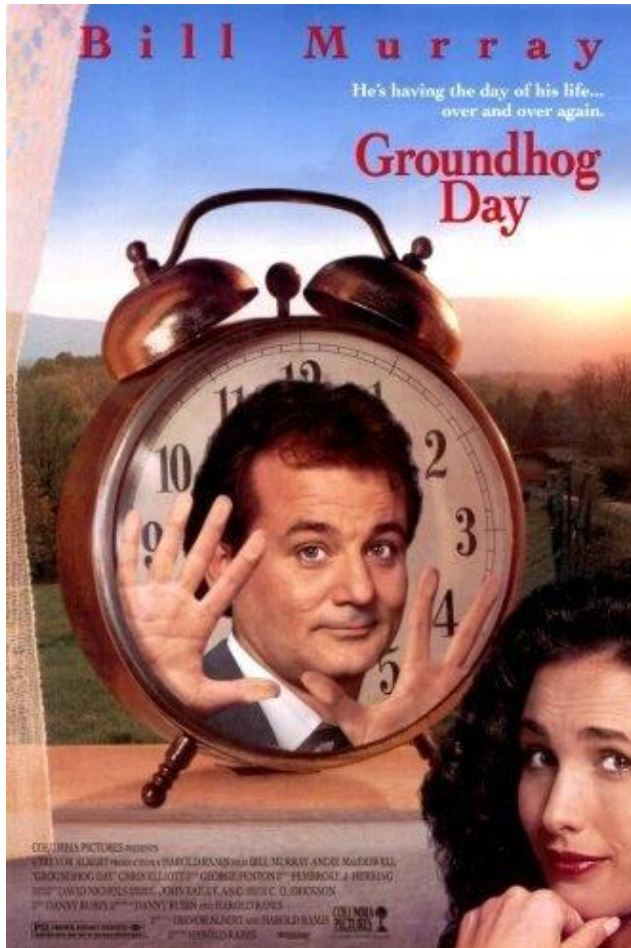
3. Door een zorgvuldige afweging te maken.



Dit vereist dat beslissingen op de korte termijn genomen worden op basis van een lange termijn analyse, waarin alle alternatieven zorgvuldig onder de loep worden genomen.

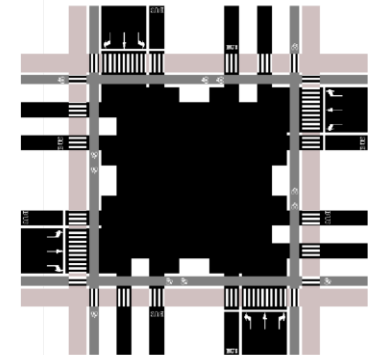
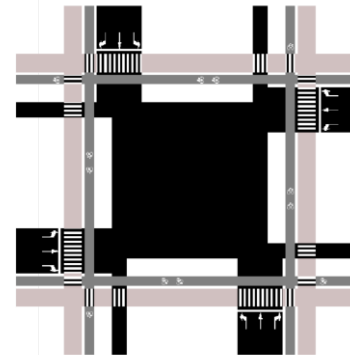
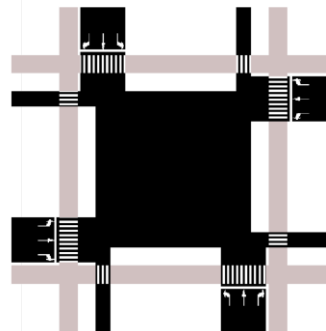
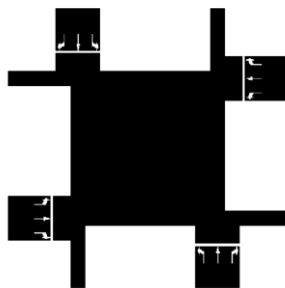
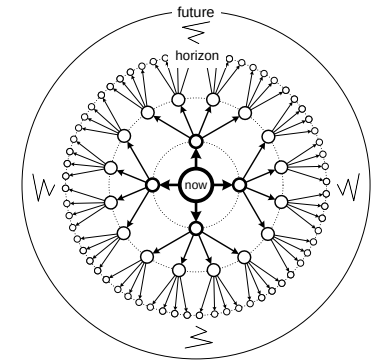
$$f^*(i) = \min_{u \in U(i)} \left\{ c_i(u) + \gamma \sum_{j \in S} p_{i,j}(u) f^*(j) \right\}$$

Analogieën van dit principe uit de bioscoop

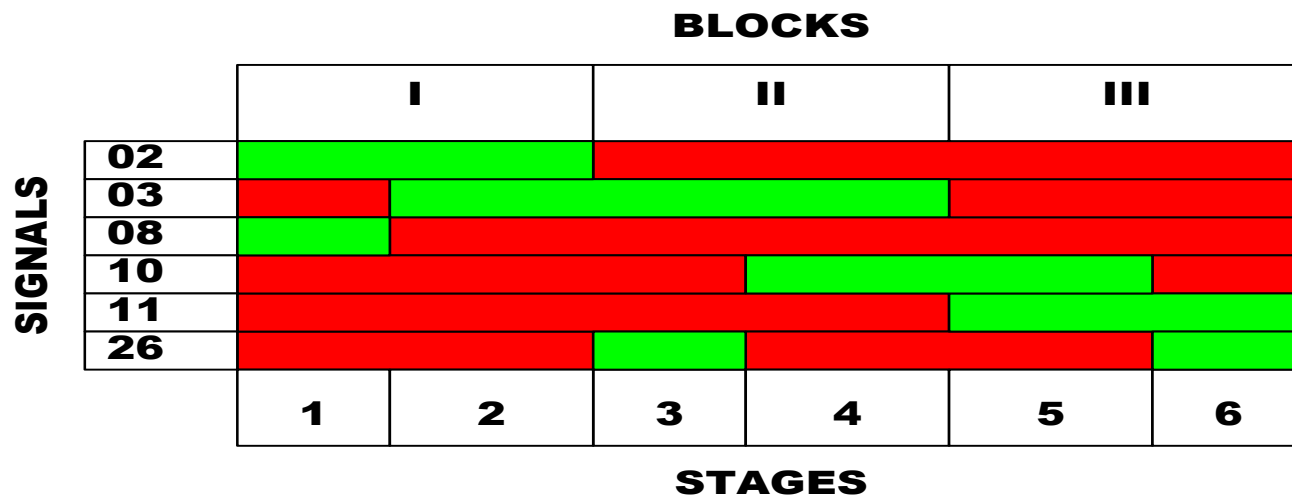
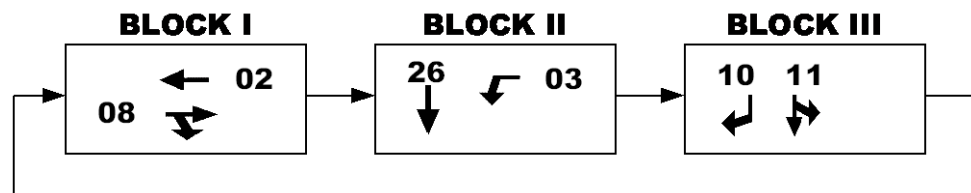
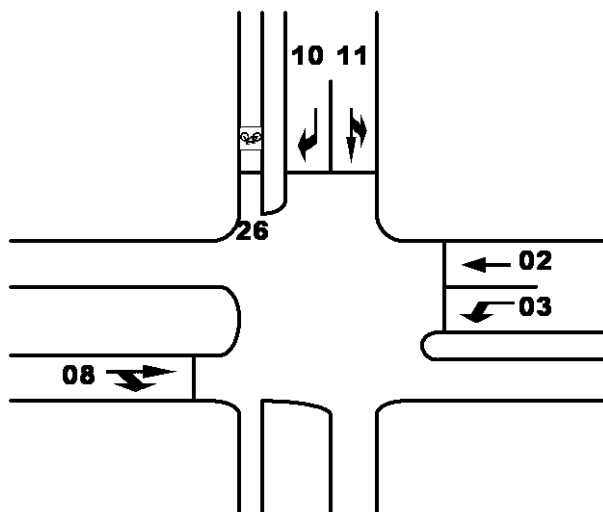


SIGNAALGROEPAFWIKKELING VERSUS STAGE-BASED TRAFFIC CONTROL: GROOTTE VAN DE ZOEKRUIMTE

Geometrie	#Signaalgroepen	#Combinaties	#Maximale combinaties
Motorvoertuigen	12	111	17
+Voetgangers	20	2186	112
+Fietzers	28	23362	352
+Openbaar vervoer	40	105722	834



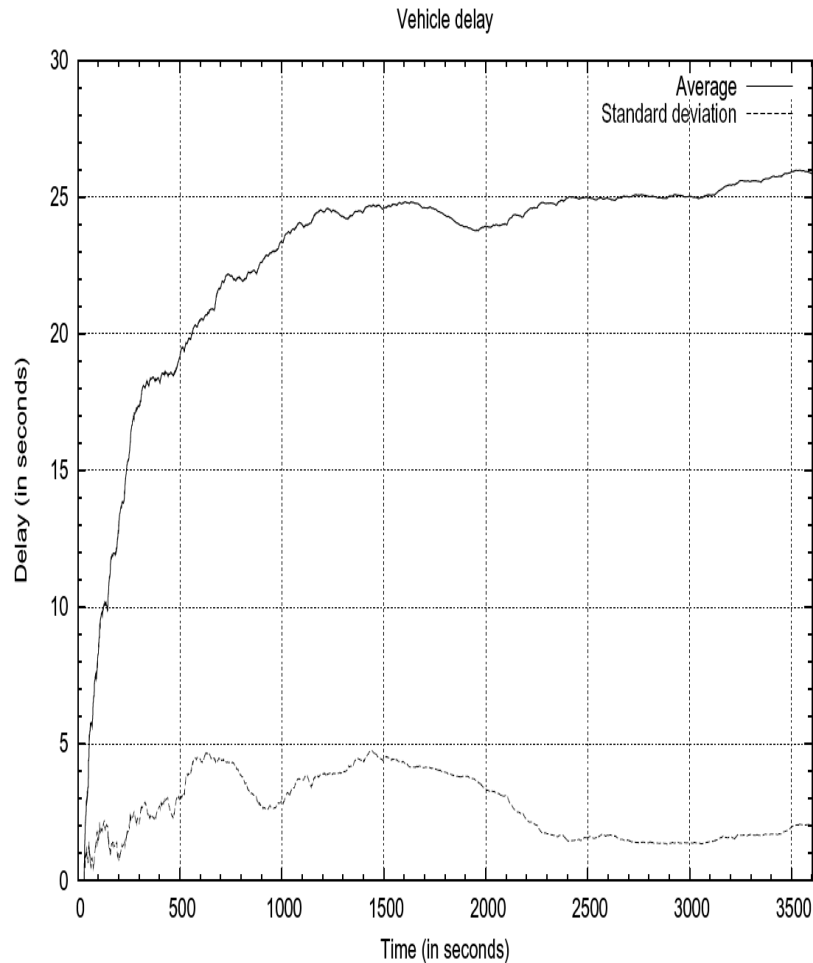
SIGNAALGROEPAFWIKKELING VERSUS STAGE-BASED TRAFFIC CONTROL: GROOTTE VAN DE ZOEKRUIMTE



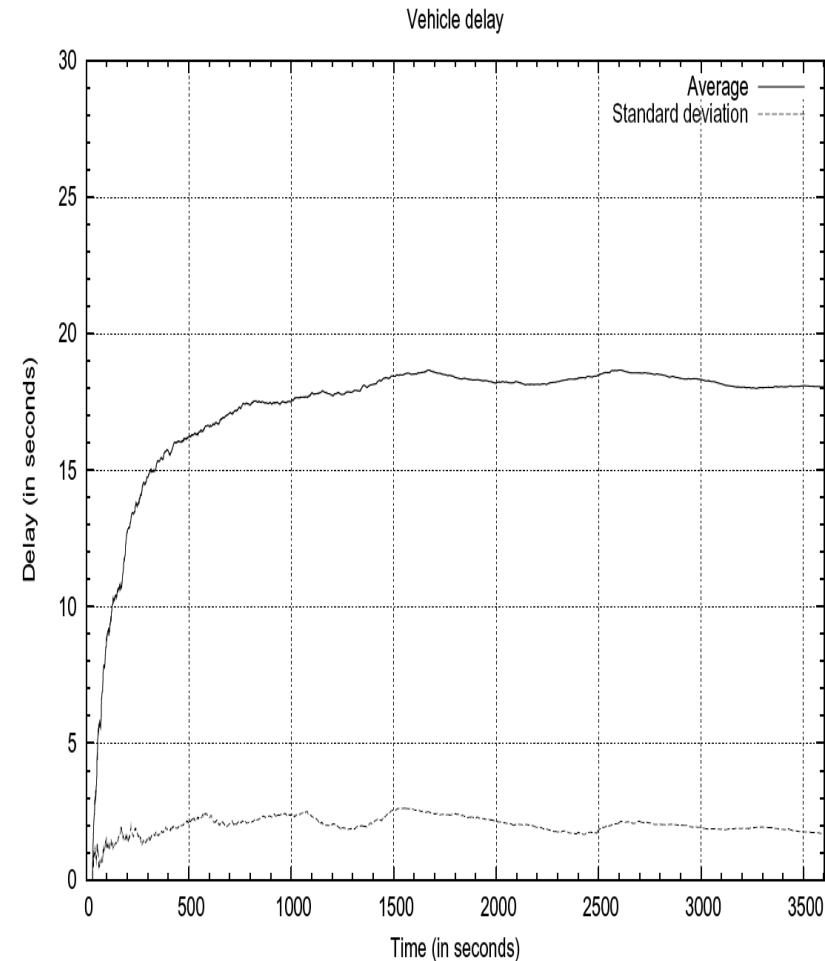
WAT LEVERT HET OP?

- › Voertuigafhankelijk regelen versus *Stage-Based* Voorspellend regelen
- › *Stage-Based* Voorspellend regelen versus Signaalgroep-gebaseerd Voorspellend regelen

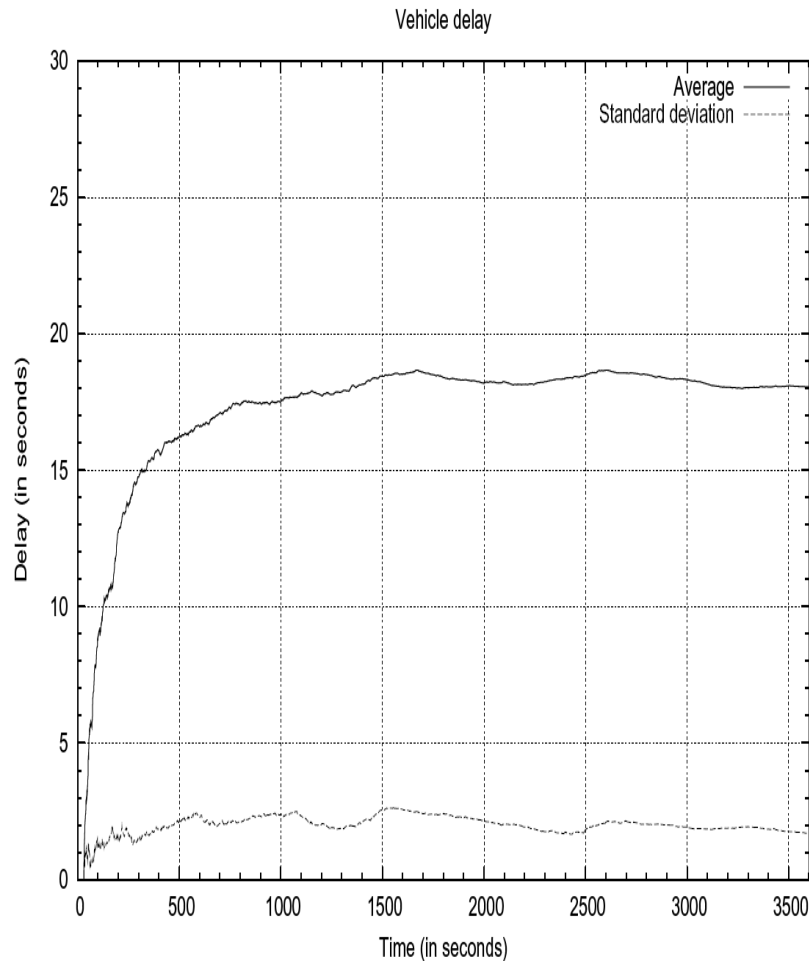
Voertuigafhankelijk Regelen



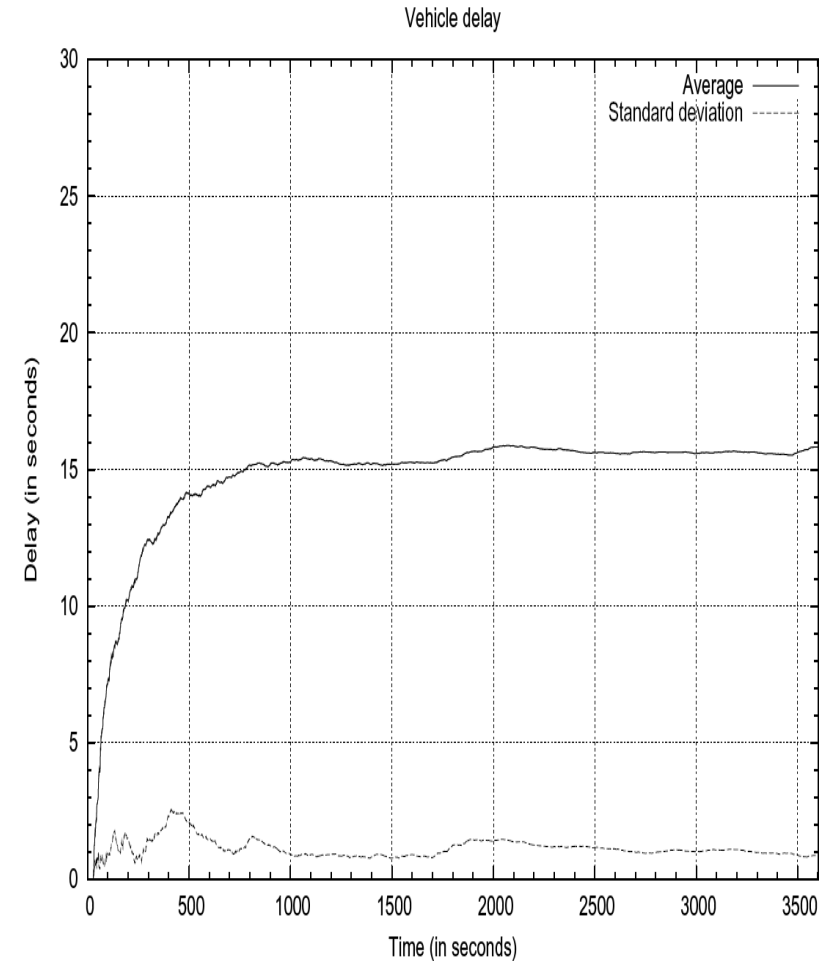
Stage-Based Voorspellend regelen



Stage-Based Voorspellend regelen



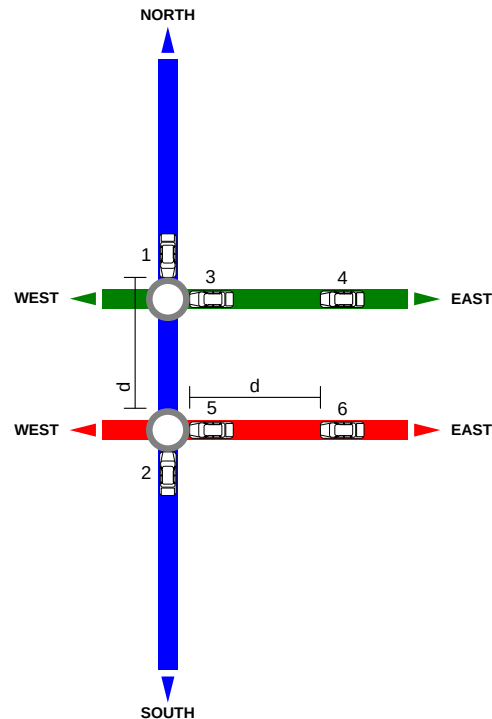
Signaalgroep-gebaseerd Voorspellend regelen



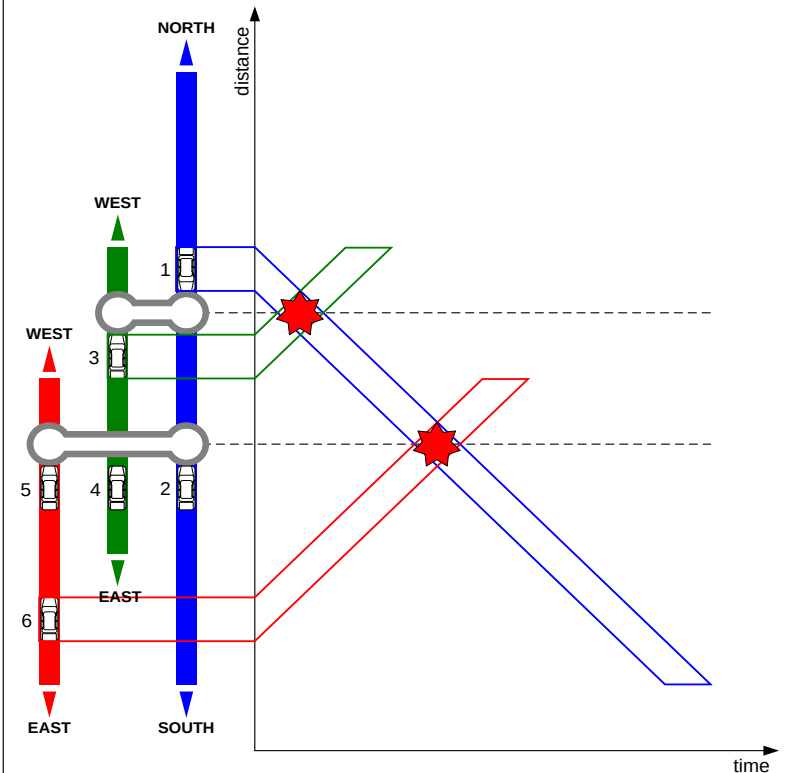
HOE KAN DIT WORDEN VERBETERD?

4. Door acties af te stemmen met naburige kruispunten.

KRUISPUNTEN WAARTUSSEN AFSTEMMING MOET PLAATSVINDEN

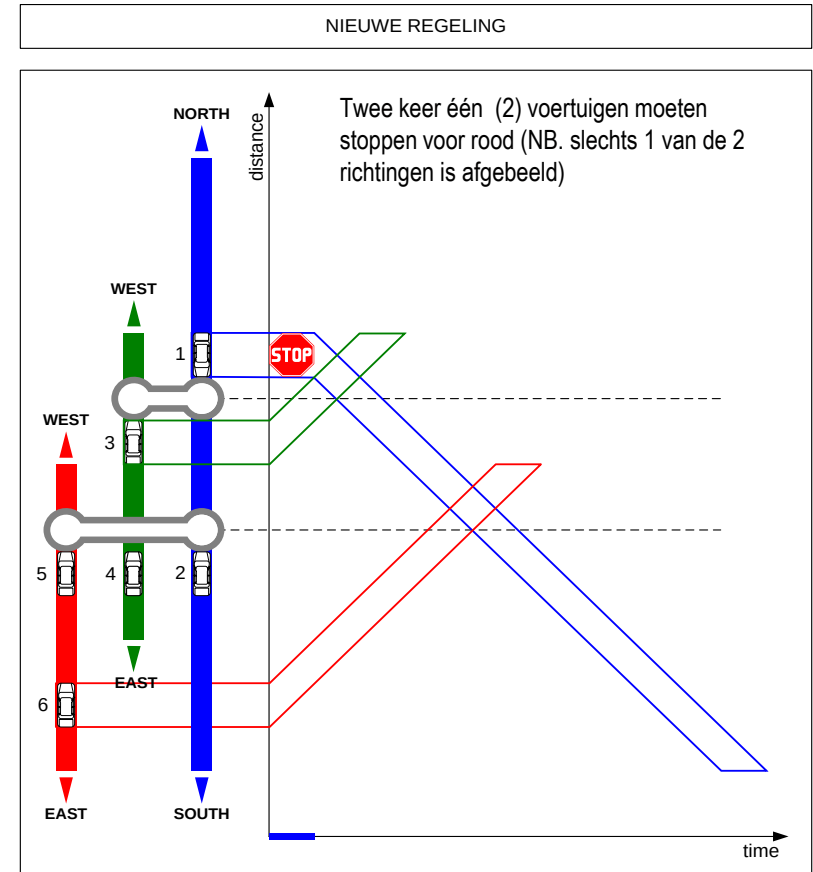
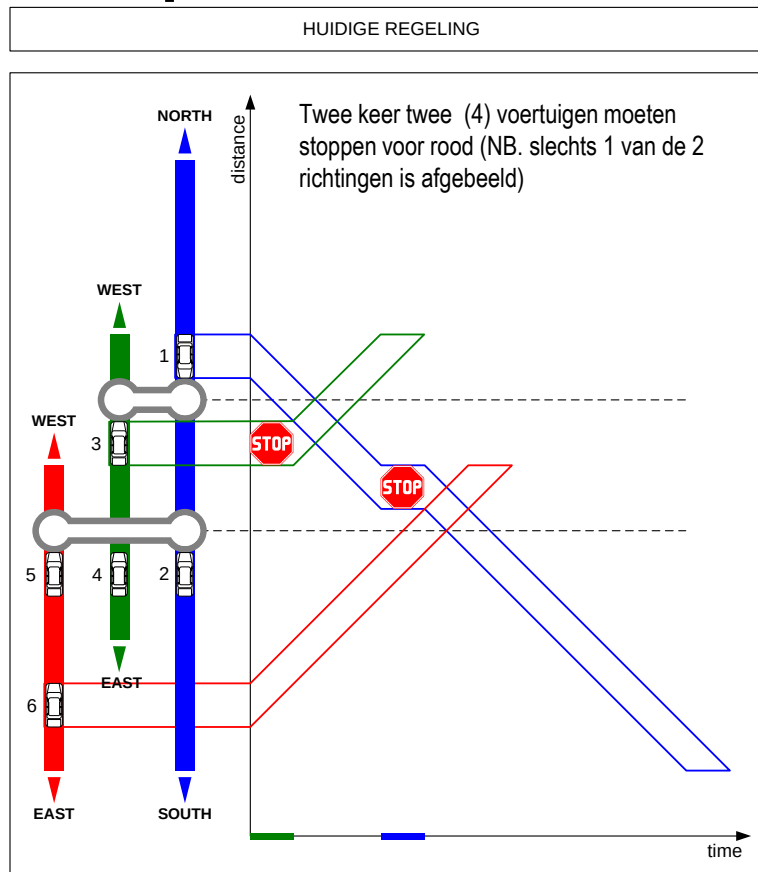


CONFLICTEN



HOE KAN DIT WORDEN VERBETERD?

4. Door acties af te stemmen met naburige kruispunten.



Samengevat

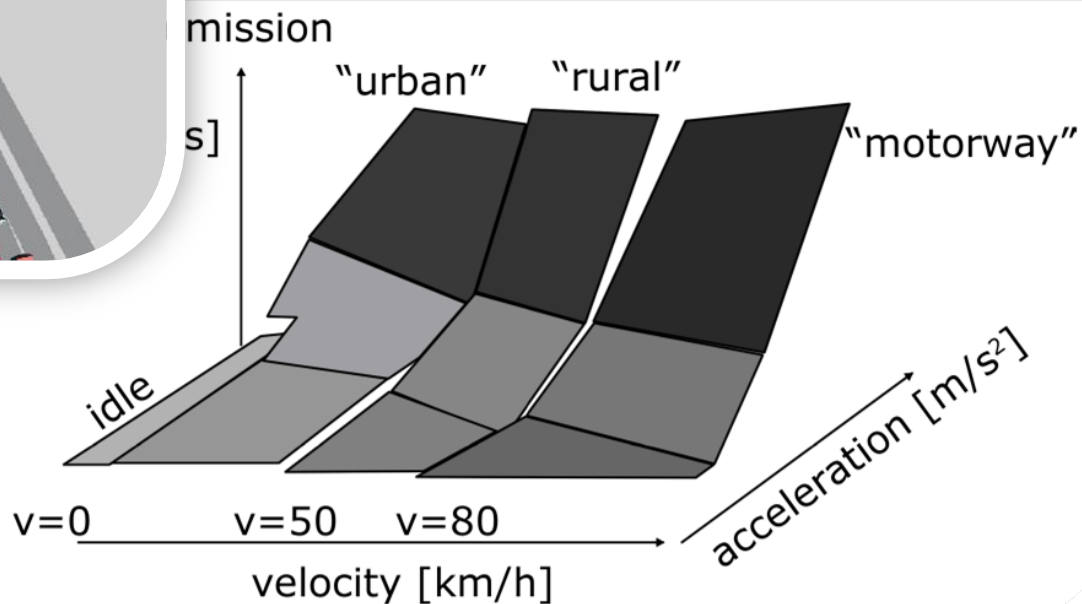
- › De potentie van voorspellend regelen ten opzicht van reactief voertuig-afhankelijke regelen is hoog
- › Ook bij voorspellend regelen blijft het zinvol om signaalgroepen afzonderlijk te beschouwen (in Nederland de norm) en niet slechts als onderdeel van een stage (internationaal de norm)
- › Afstemming van signaalplannen tussen kruispunten voorkomt dat lokale winsten binnen het netwerk verdampen.

INHOUD

- › Regelprincipe: Modelgebaseerd voorspellend regelen (UKACC 2008)
- › Simulatie studies
 - › Amsterdam: Stedelijke streng van geregelde kruispunten (x2)
 - › Rotterdam: Stedelijk kruispunt (TRA 2013),
 - › Helmond: Provinciaal kruispunt (IET 2014 special issue)
- › Veldtest: Provincie Zuid Holland: Een overzichtelijke mix
- › Richting toekomst: de bijdrage van coöperatieve systemen

Simulatie studies: virtuele omgeving

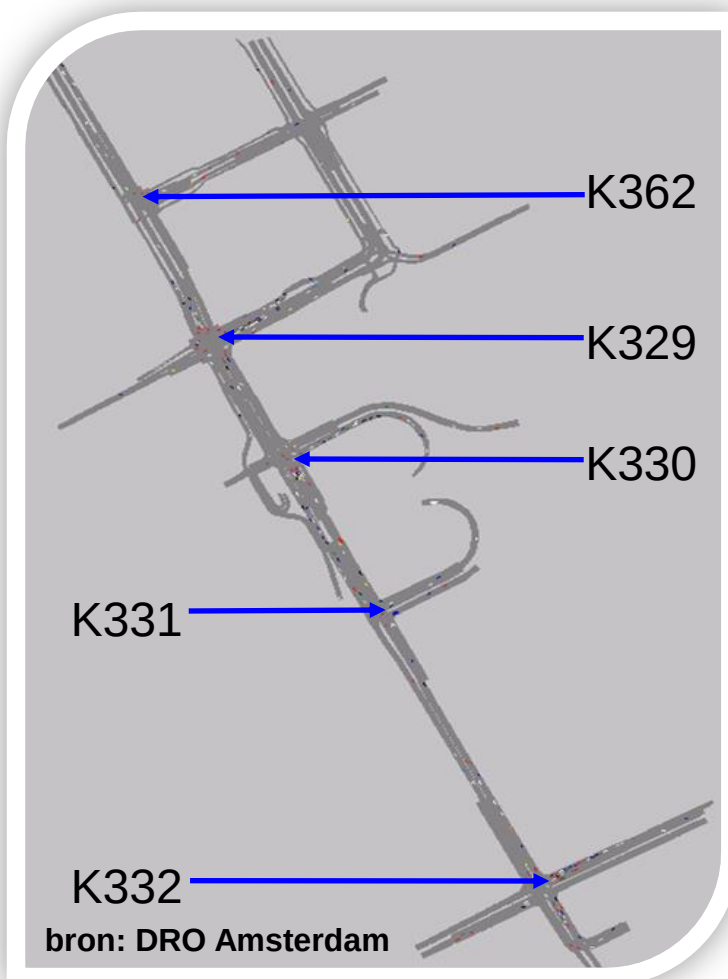
Verkeerssimulatie: VISSIM



Emissie model: EnViVer

AMSTERDAM: een streng van kruispunten

... waaronder separaat geregelde voetgangers, fietsers en geprioriteerde busrichtingen



06:45-08:00	Huidig	Nieuw
Reistijd (s)	1933171	-15.8 %
Verliestijd (s)	1202577	-25.5 %
Stops (#)	31636	-14.1 %

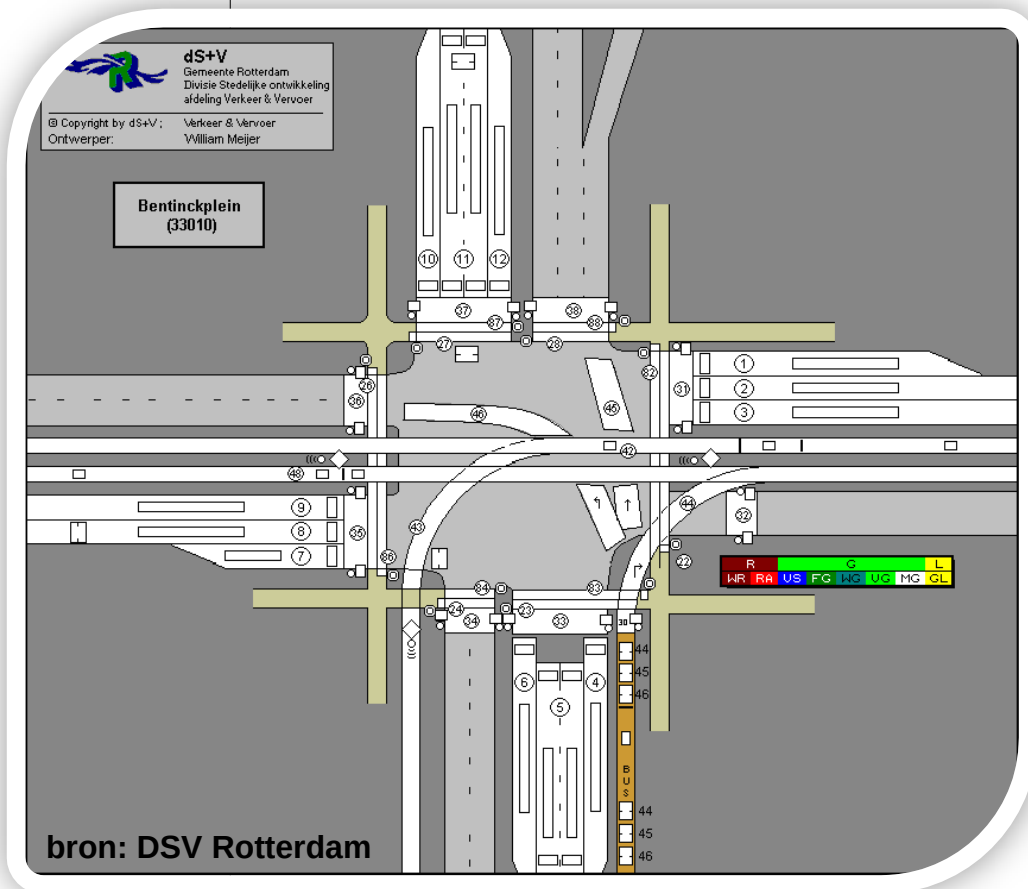
WAT LEVERT HET OP?

Op jaarbasis

Huidige reistijd per uur	228.89	uur
Relatieve reistijdwinst t.o.v. huidige regeling	0.17	x
Absolute reistijdwinst in een uur	38.91	uur
Duur van de ochtend en avondspits	4.00	x
Absolute reistijdwinst in de spitsen	155.65	uur
Gemiddeld aantal werkdagen per jaar	200.00	x
Absolute reistijdwinst in de spits voor een jaar	31129.52	uur
Gemiddelde reistijdwaardering	11.00	EUR
Besparing op jaarbasis	Minimaal 342424.72	EUR

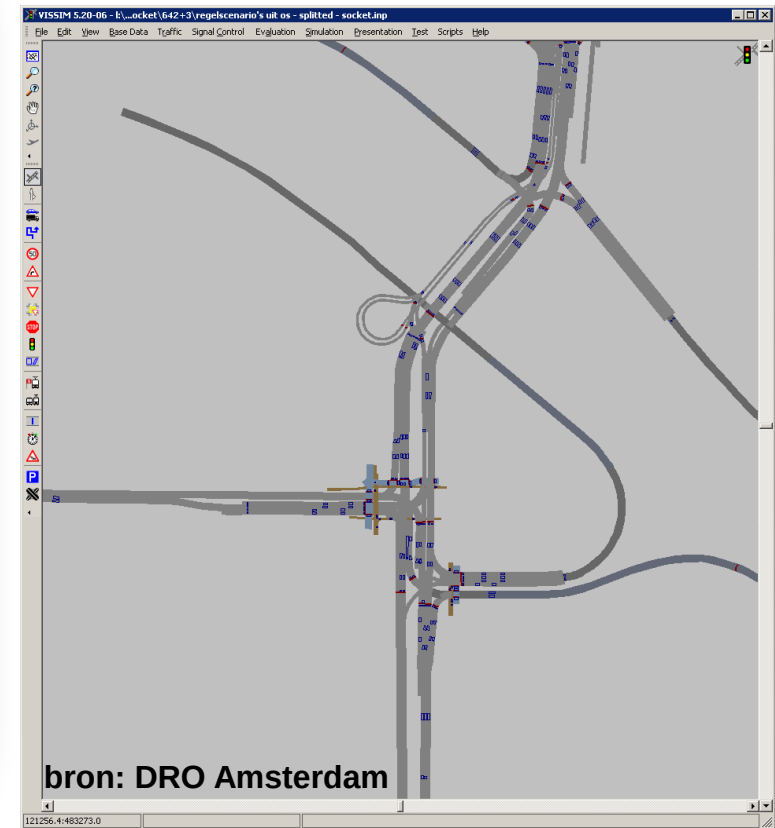
ROTTERDAM: een stedelijk kruispunt

... met vele separaat geregelde voetgangers, fiets, tram en busrichtingen



06:45-08:00	Huidig	Nieuw
Reistijd (s)	227281	-19.6 %
Verliestijd (s)	147326	-30.2 %
Stops (#)	3426	-15.7 %
CO2 (g)	602921	-11,1 %
NOx (g)	3044	-12,6 %
PM10 (g)	109	-9,4 %

AMSTERDAM: Europaboulevard



WAT LEVERT HET OP?

Op jaarbasis voor K643

Huidige reistijd per uur	47	uur
Relatieve reistijdwinst t.o.v. huidige regeling	0.19	x
Absolute reistijdwinst in een uur	8.93	uur
Duur van de ochtend en avondspits	4.00	x
Absolute reistijdwinst in de spitsen	35.62	uur
Gemiddeld aantal werkdagen per jaar	200.00	x
Absolute reistijdwinst in de spits voor een jaar	7144	uur
Gemiddelde reistijdwaardering	11.00	EUR
Besparing op jaarbasis	Minimaal 78584.00	EUR

HELMOND: een geïsoleerd provinciaal kruispunt

... zonder langzaam verkeer



07:00-08:00	Huidig	Nieuw
Reistijd (s)	220634	-15.5 %
Verliestijd (s)	100308	-34.1 %
Stops (#)	2423	-15.1 %

Samenvattend

- › Modelgebaseerd Voorspellend regelen heeft ten opzichte van voertuigafhankelijke regelingen meerwaarde voor een grote verscheidenheid van kruispuntconfiguraties en verkeersvraagverdelingen

INHOUD

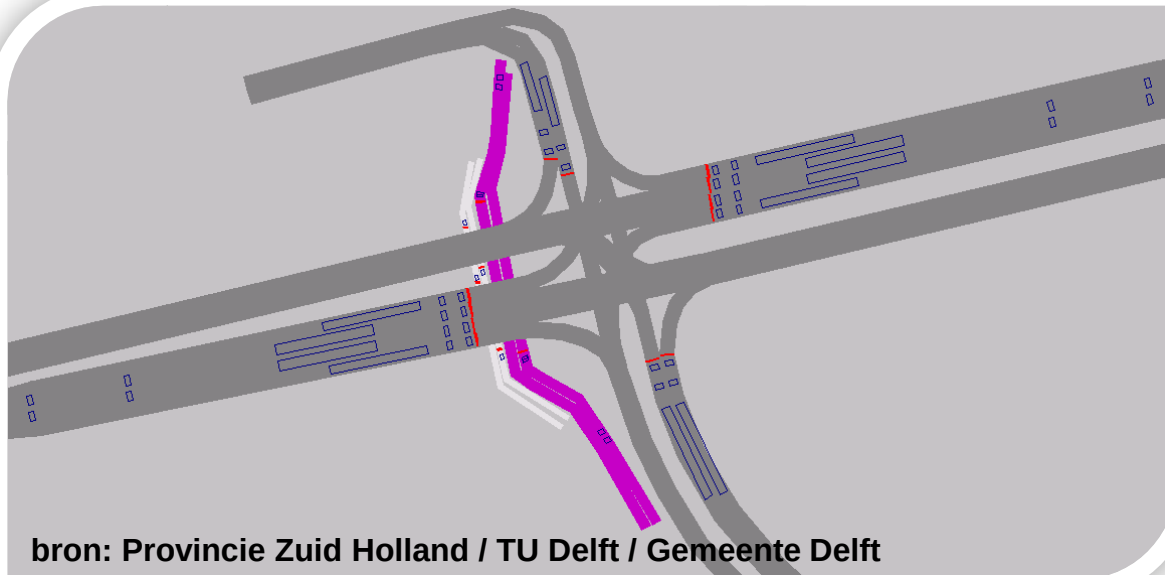
- › Regelprincipe: Modelgebaseerd voorspellend regelen (UKACC 2008)
- › Simulatie studies
 - › Amsterdam: Stedelijke streng van geregelde kruispunten (x2)
 - › Rotterdam: Stedelijk kruispunt (TRA 2013),
 - › Helmond: Provinciaal kruispunt (IET 2014 special issue)
- › Veldtest: Provincie Zuid Holland: Een overzichtelijke mix
- › Richting toekomst: de bijdrage van coöperatieve systemen

VELDTEST

- › Simulatieresultaten
- › Technische Installatie werkzaamheden:
 - › Aanvullende detectie
 - › Aanvullende hardware
- › Software:
 - › Architectuur op hoofdlijnen
 - › Testomgeving
- › Praktijkresultaten

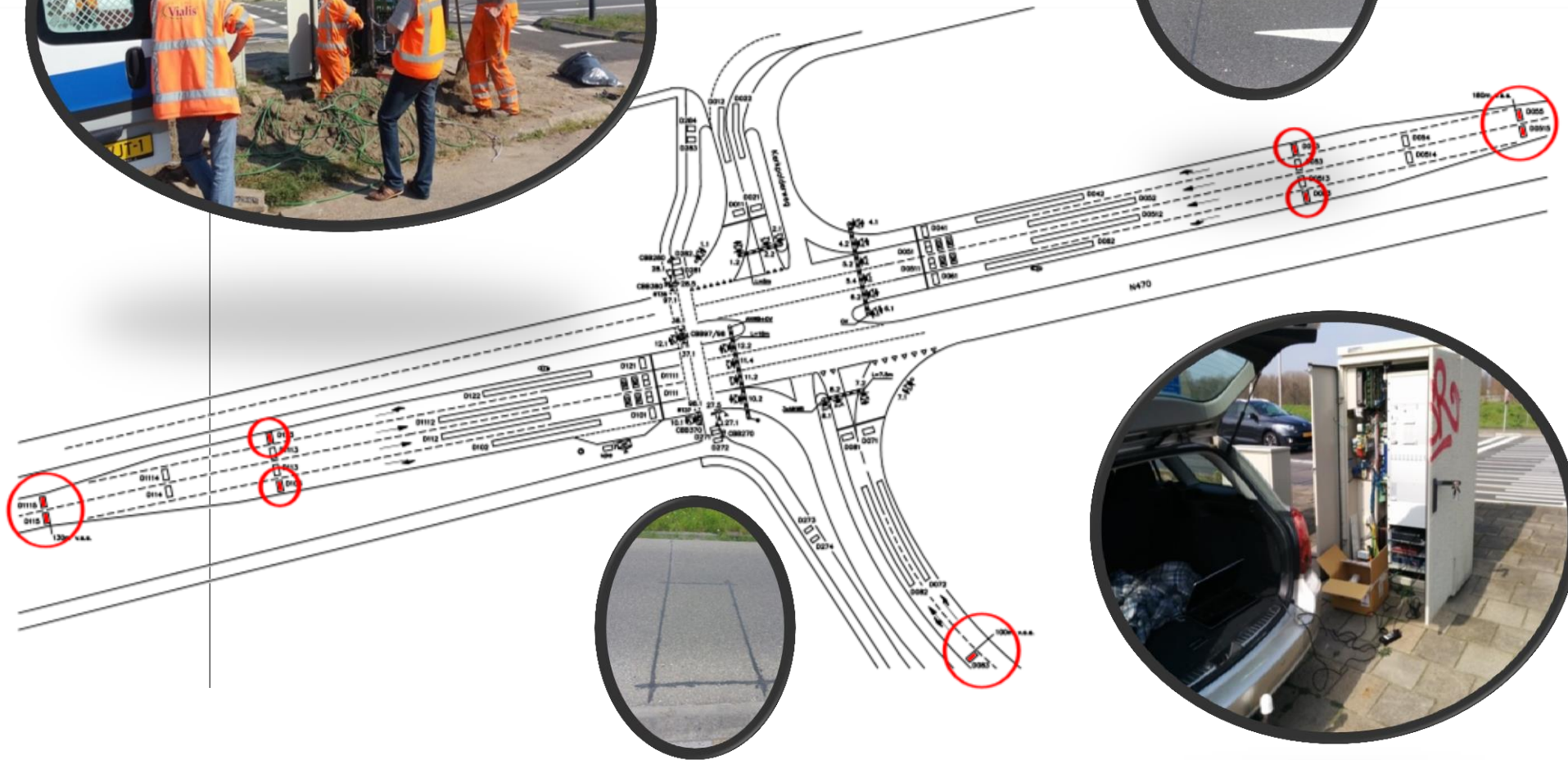
VELDTEST

... op een kruispunt met een beperkte verkeersvraag, maar met een gekoppelde voetgangersoversteek, fietsers en prioriteit voor hulpdiensten en ov.



bron: Provincie Zuid Holland / TU Delft / Gemeente Delft

17:00-18:10	Huidig	Nieuw
Reistijd (s)	77665	-12.2 %
Verliestijd (s)	45834	-20,3 %
Stops (#)	1328	-16.1 %



AANVULLENDE HARDWARE IN DE KAST

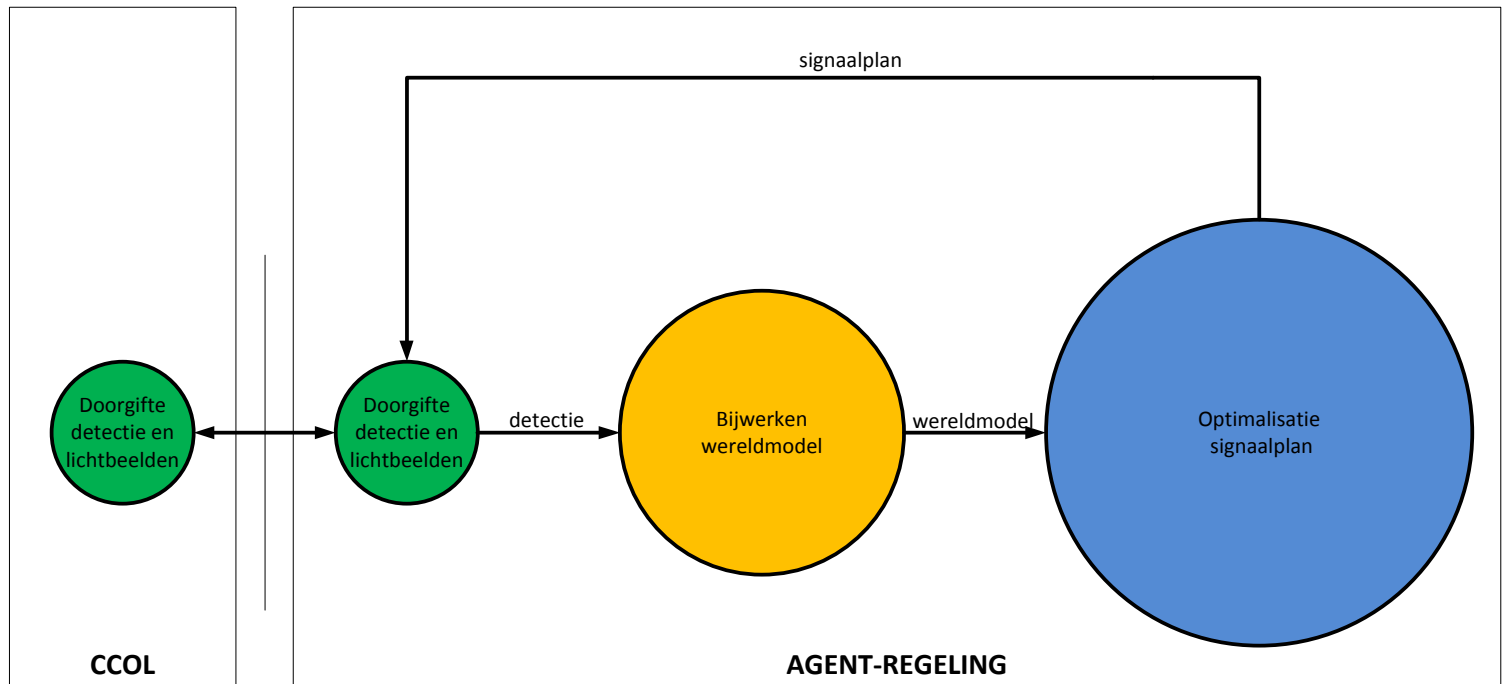


Industriële PC

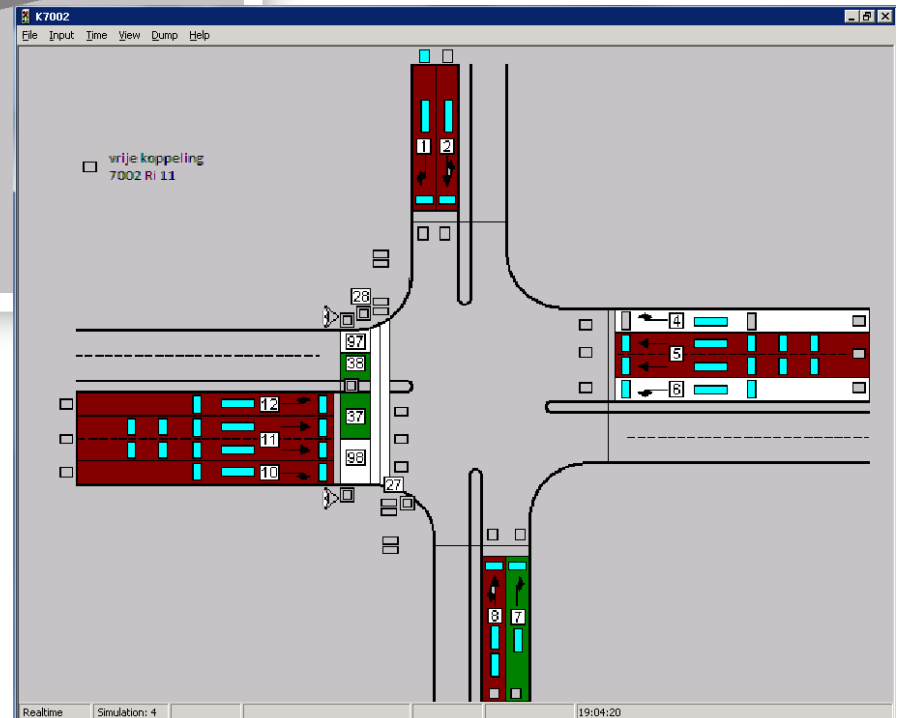
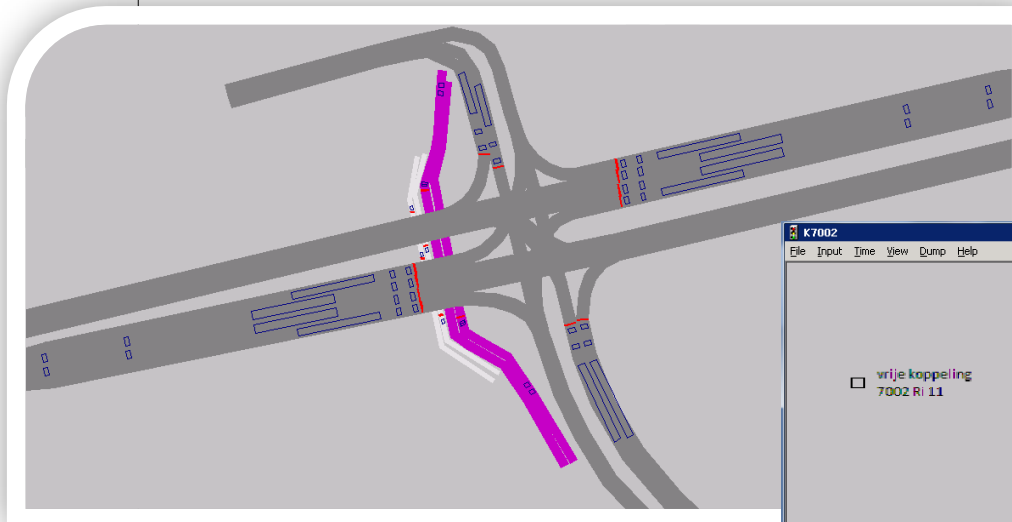


Serieel naar TCP/IP
Converter

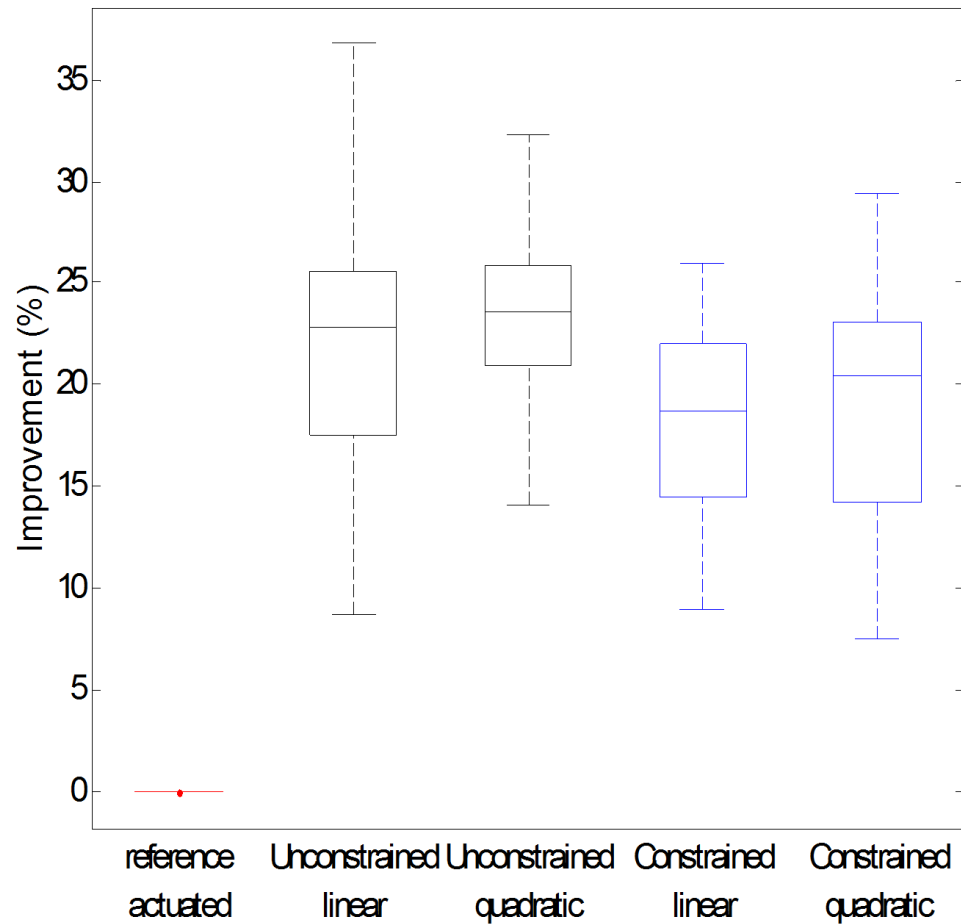
ARCHITECTUUR



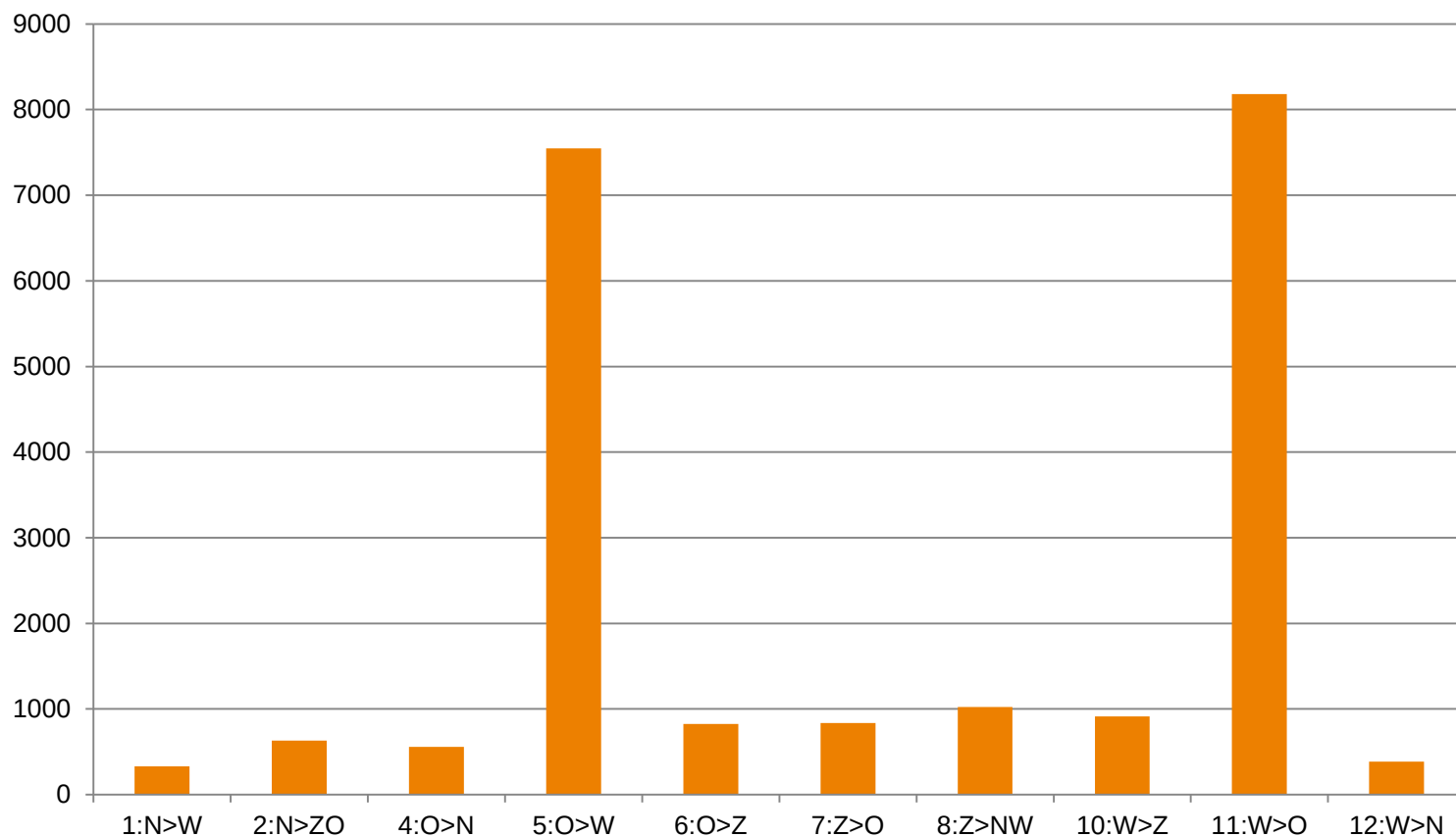
TESTOMGEVINGEN



Impact van randvoorwaarden op de verliestijd



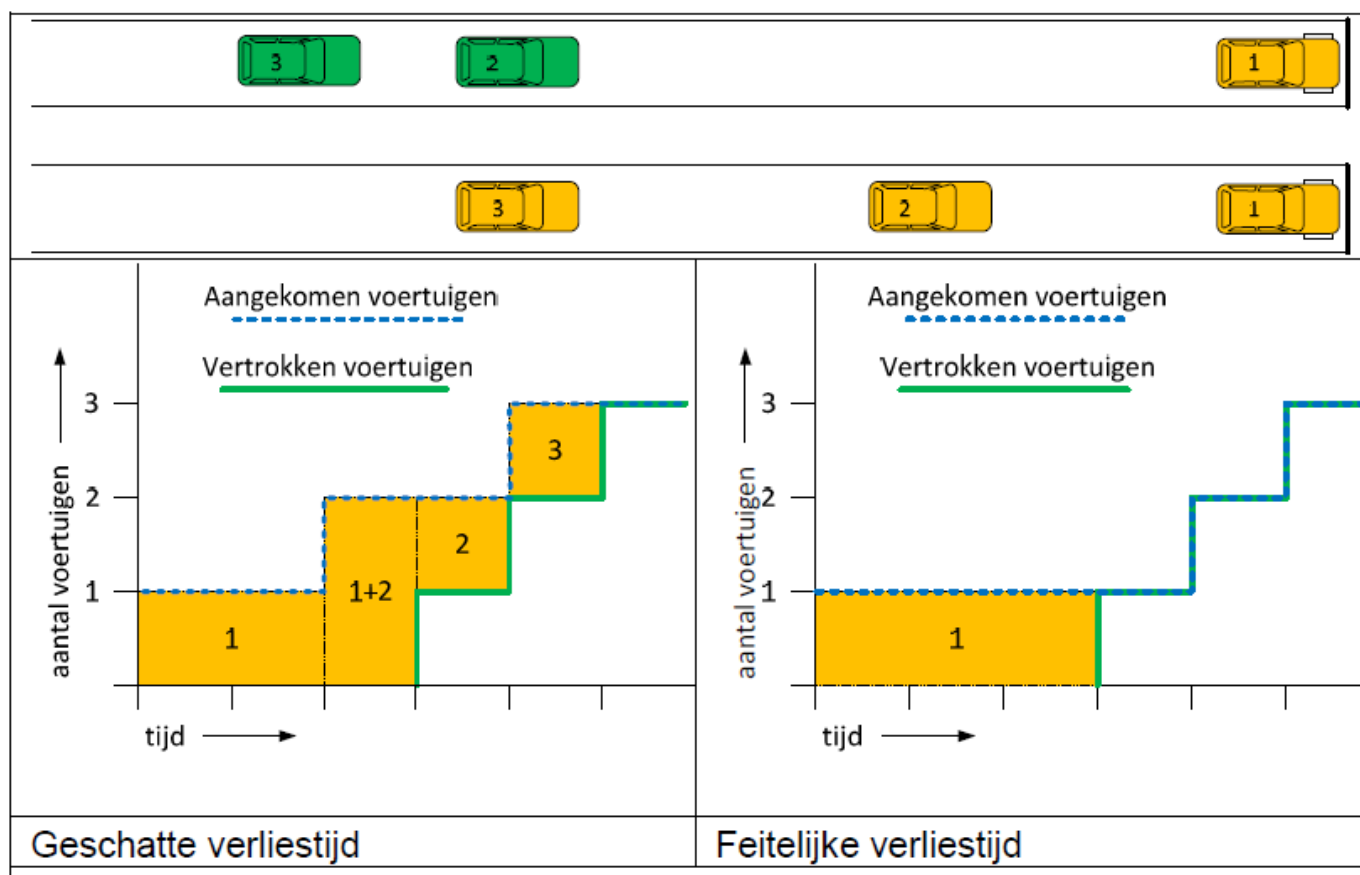
Etmaalvolume (#vtg) per richting van 21 januari 2014



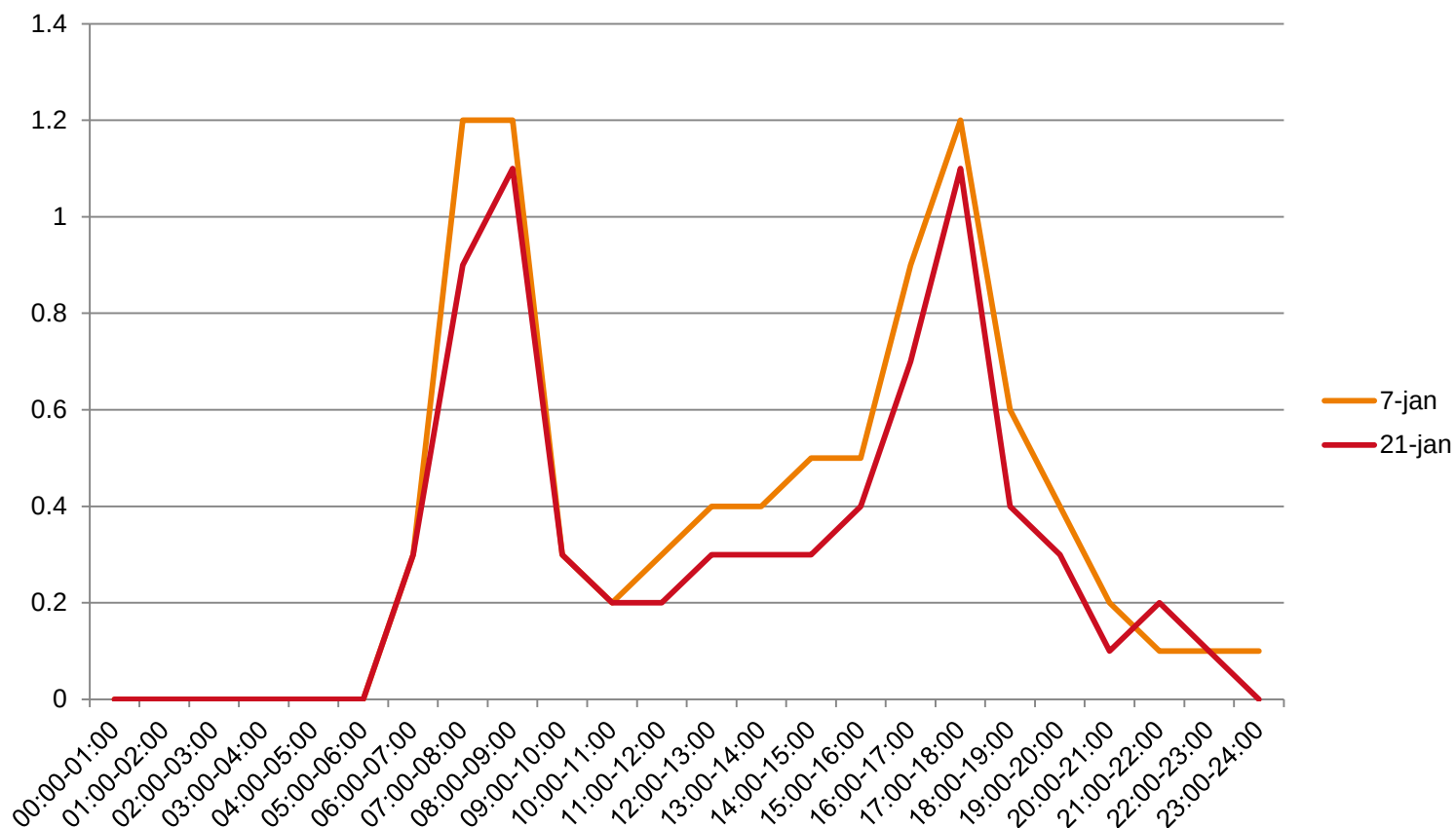
PRAKTIJKRESULTATEN: Verliestijden

Gemiddelde verliestijd (s) per voertuig	1 N>W	2 N>ZO	4 O>N	5 O>W	6 O>Z	7 Z>O	8 Z>NW	10 W>Z	11 W>O	12 W>N	Alle
Huidige Regeling (07 januari)	11,6	18,2	2,7	5,4	12,4	9,7	16,0	3,4	6,1	13,4	7,1
Nieuwe Regeling (21 januari)	16,5	29,6	2,1	2,8	7,7	8,9	25,4	2,4	3,8	14,3	5,9
Verbetering	-42%	-63%	22%	48%	38%	8%	-59%	31%	38%	-7%	18%

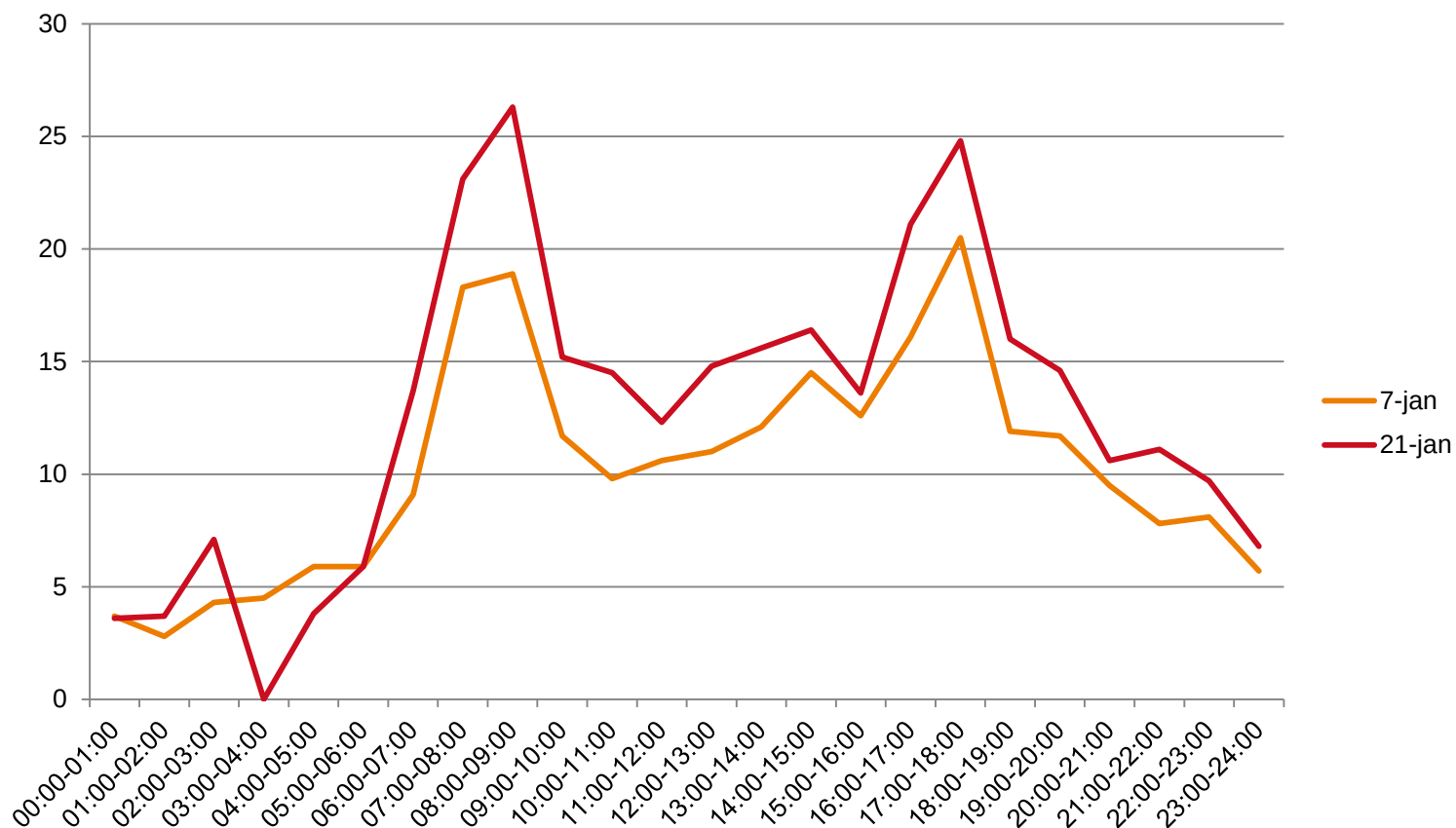
VERLIESTIJD: GESCHAT VERSUS FEITELIJK



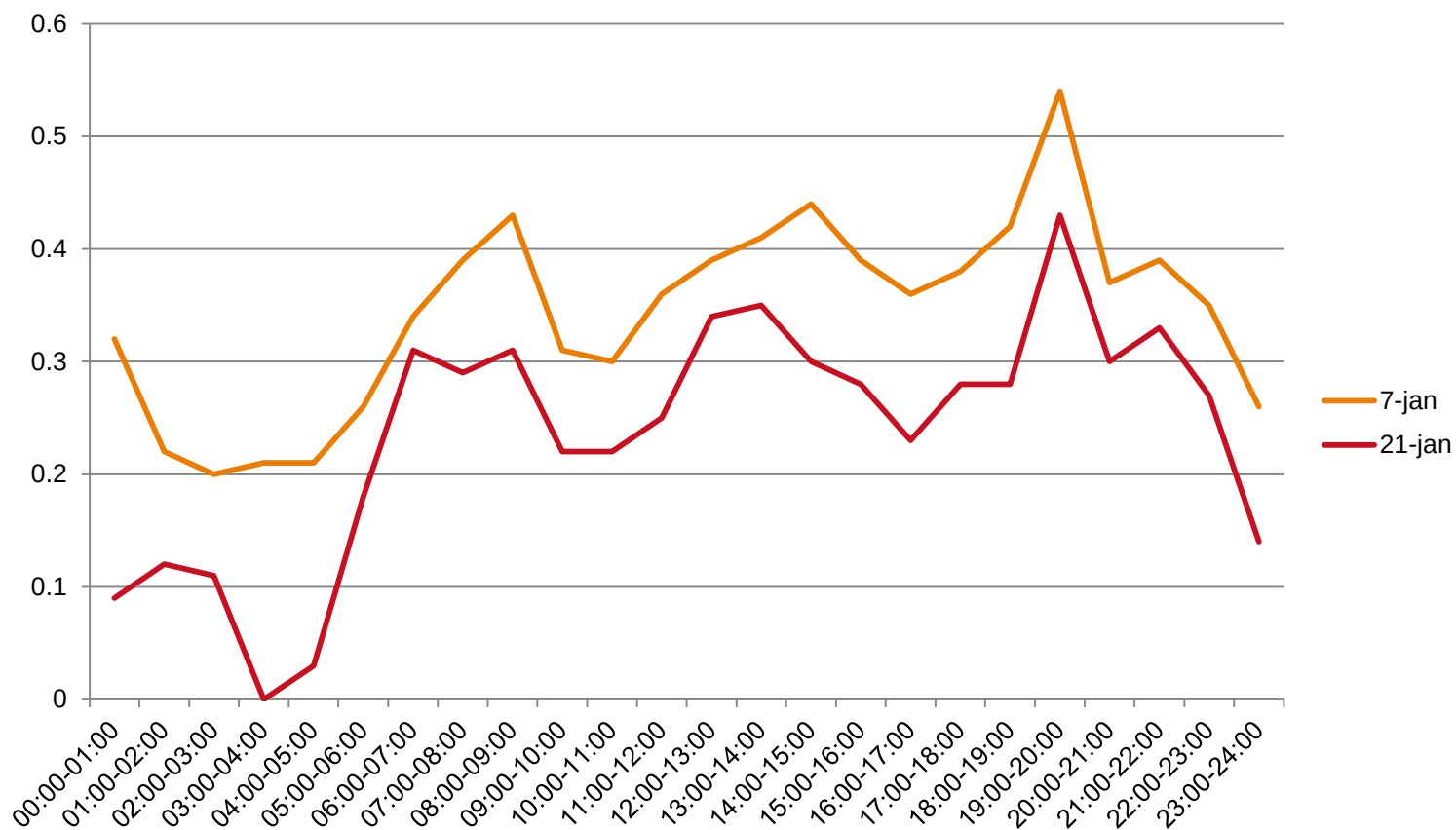
PRAKTIJKRESULTATEN: Gemiddeld aantal voertuigen in de wachtrij/uur voor alle richtingen



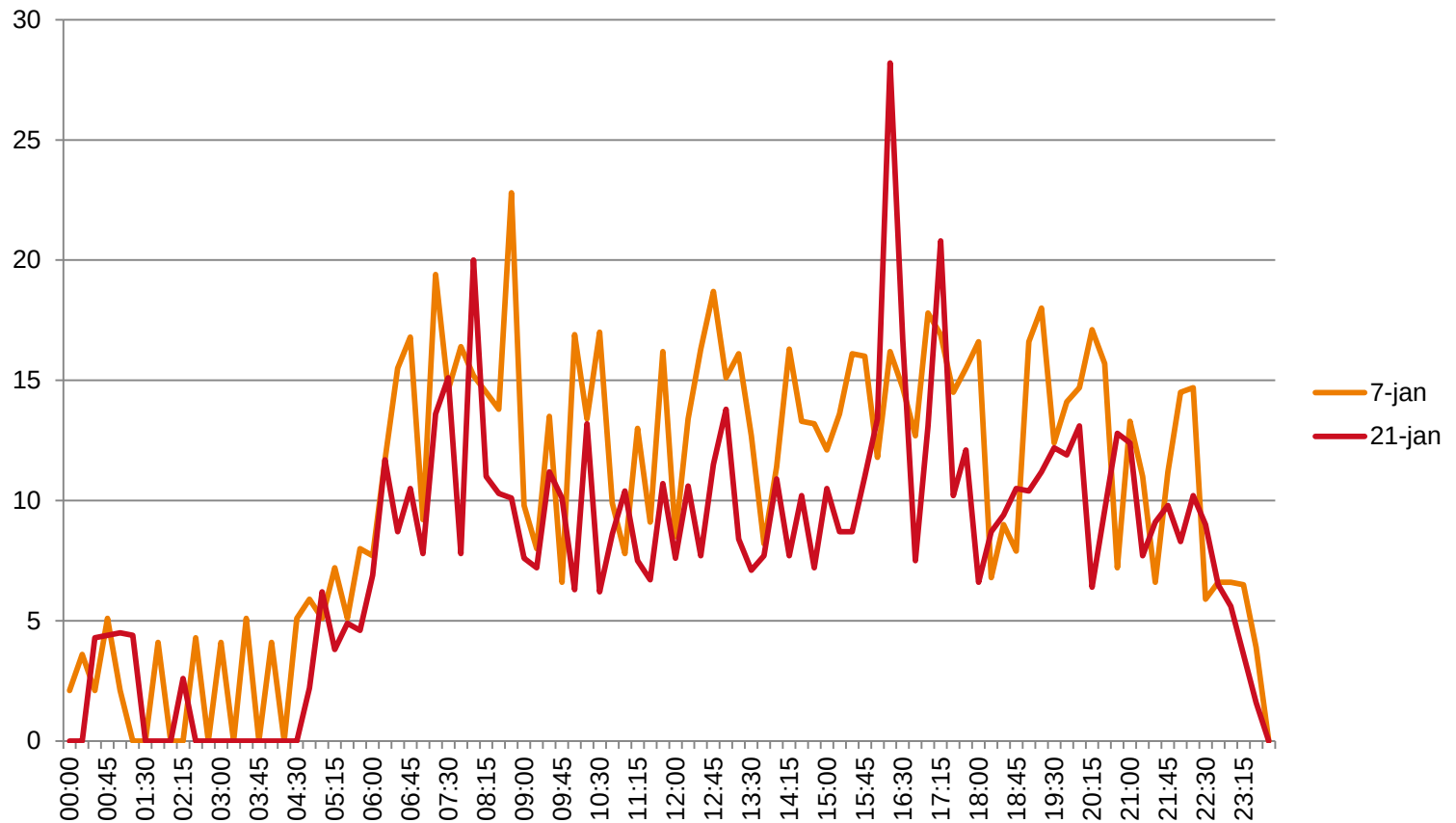
PRAKTIJKRESULTATEN: Wachttijden eerstwachtede/uur



PRAKTIJKRESULTATEN: Gemiddeld aantal stops/uur



PRAKTIJKRESULTATEN: Tijd (s) onnodig wachten per kwartier exclusief regeltechnische conflicten



Samenvattend

- › De door middel van simulaties gedemonstreerde meerwaarde van voorspellend regelen kan ook in de praktijk worden gerealiseerd.
- › De aan de regeling opgelegde randvoorwaarden die de geloofwaardigheid van de regeling verhogen hebben slechts beperkte impact op de prestatie van de regeling.

INHOUD

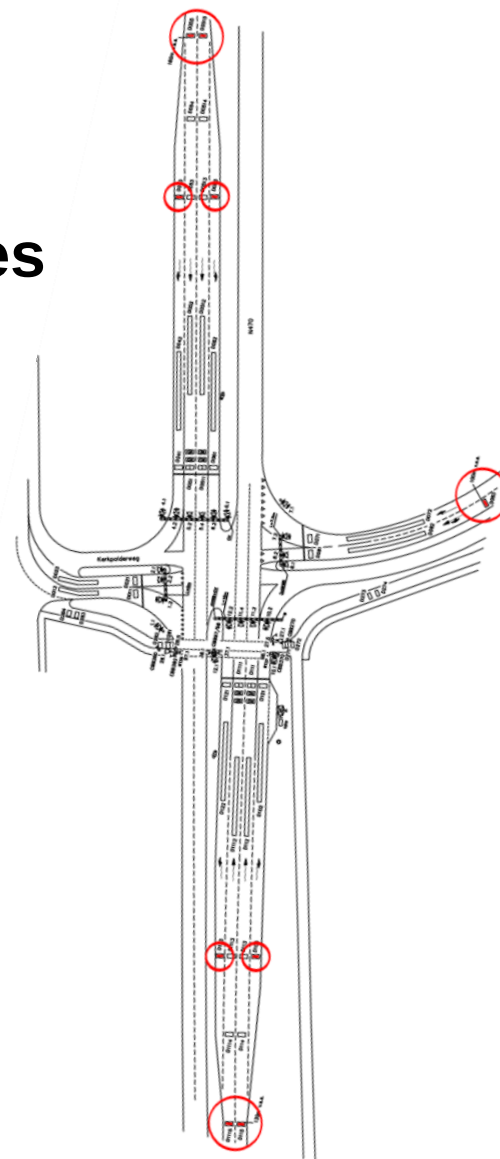
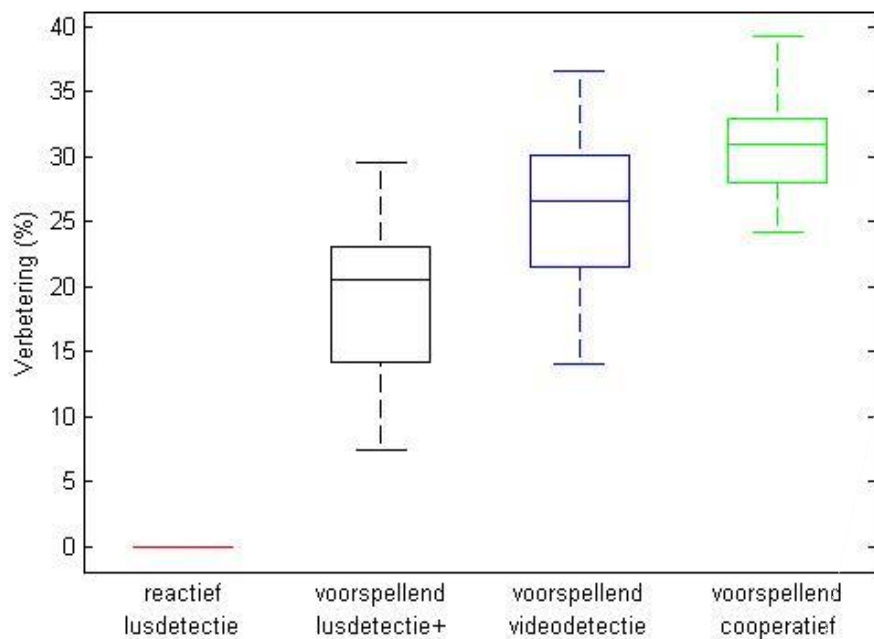
- › Regelprincipe: Modelgebaseerd voorspellend regelen (UKACC 2008)
- › Simulatie studies
 - › Amsterdam: Stedelijke streng van geregelde kruispunten (x2)
 - › Helmond: Provinciaal kruispunt (IET 2014 special issue)
 - › Rotterdam: Stedelijk kruispunt (TRA 2013),
 - › TRANSUMO ATMO, Sensor City Assen, Weg van de toekomst Oss
- › Veldtest: Provincie Zuid Holland: Een overzichtelijke mix
- › Richting toekomst: de bijdrage van coöperatieve systemen

RICHTING TOEKOMST: BIJDRAGE COÖPERATIEVE SYSTEMEN

- › Het voertuig als sensor
 - › Toegevoegde waarde voor het kruispunt N470 - Laan der Verenigde Naties (Delft)

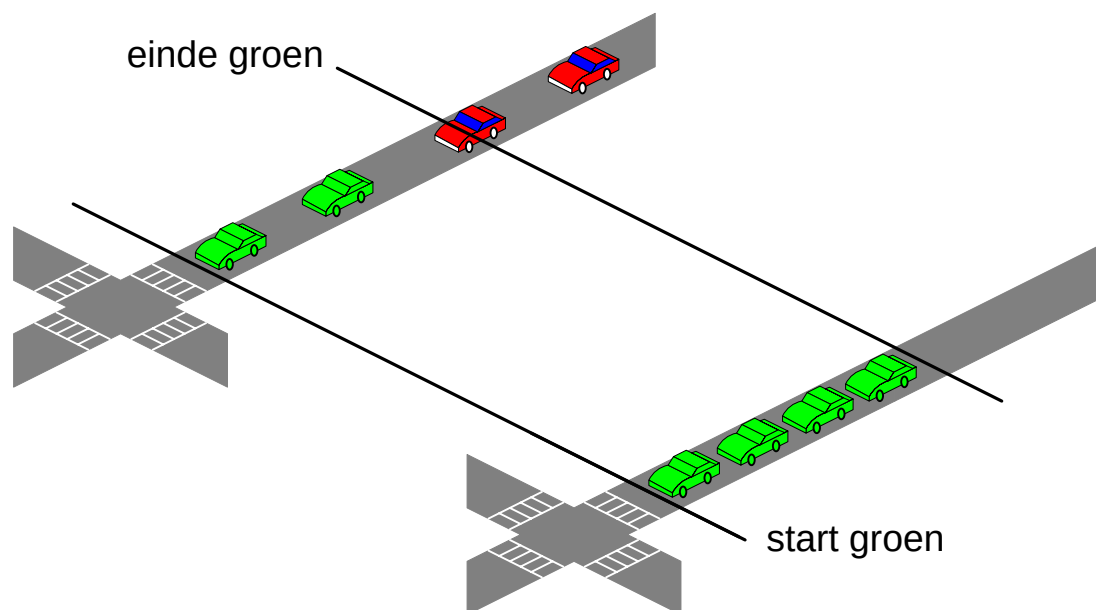
- › Het voertuig als actuator
 - › Toegevoegde waarde voor het kruispunt Brandevoortsedreef/A270 (Helmond)
 - › Toegevoegde waarde voor het Bentinckplein (Rotterdam)

HET VOERTUIG ALS SENSOR - Toegevoegde waarde voor N470 - Laan der Verenigde Naties



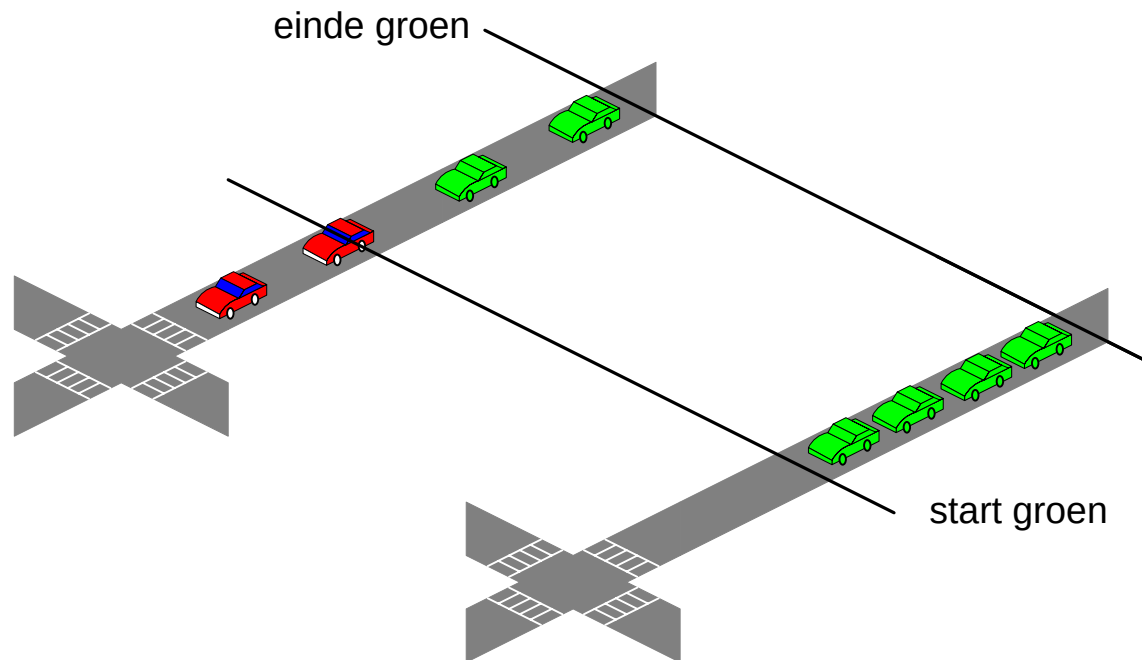
HET VOERTUIG ALS ACTUATOR

Vermindering verspilling van groen

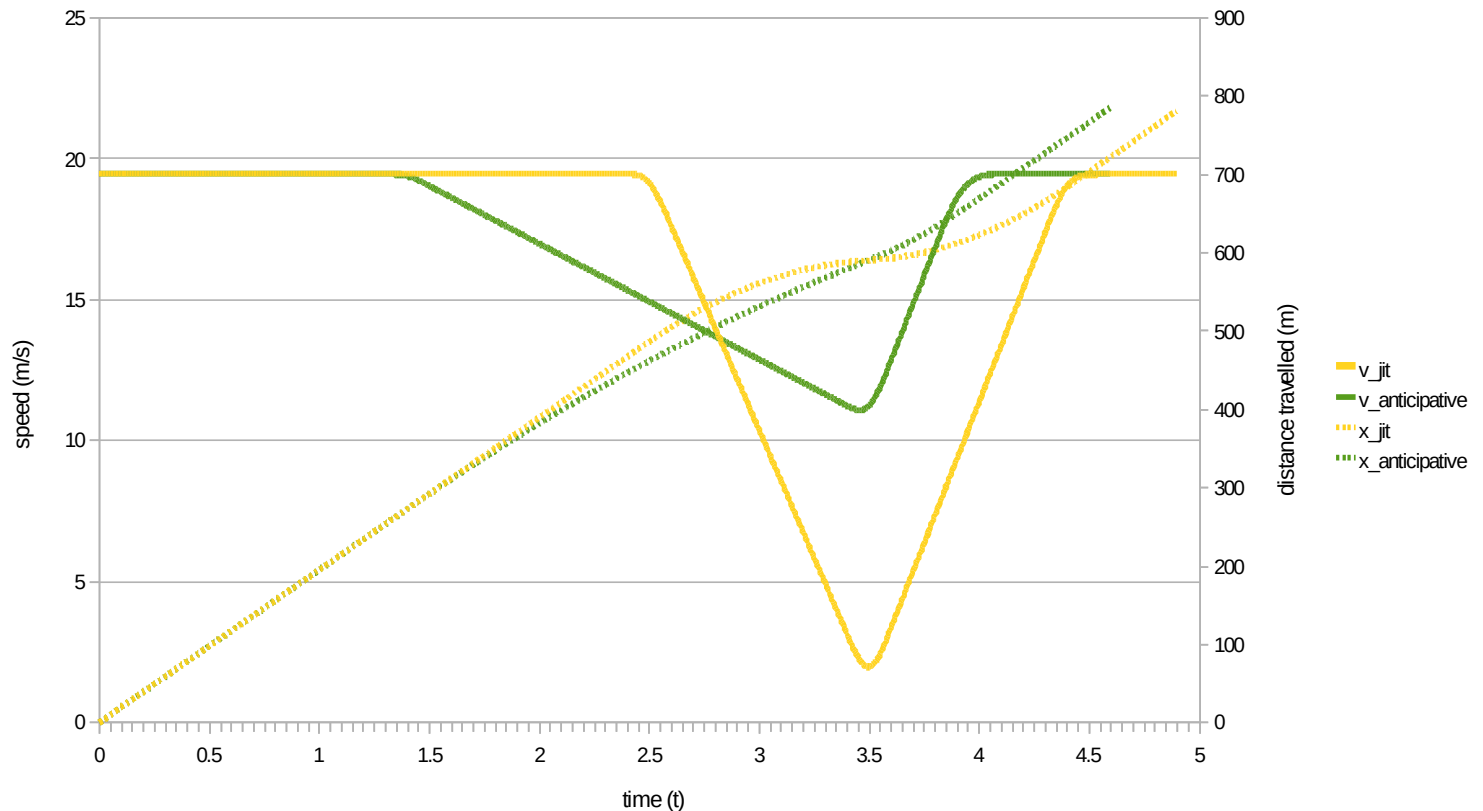


HET VOERTUIG ALS ACTUATOR

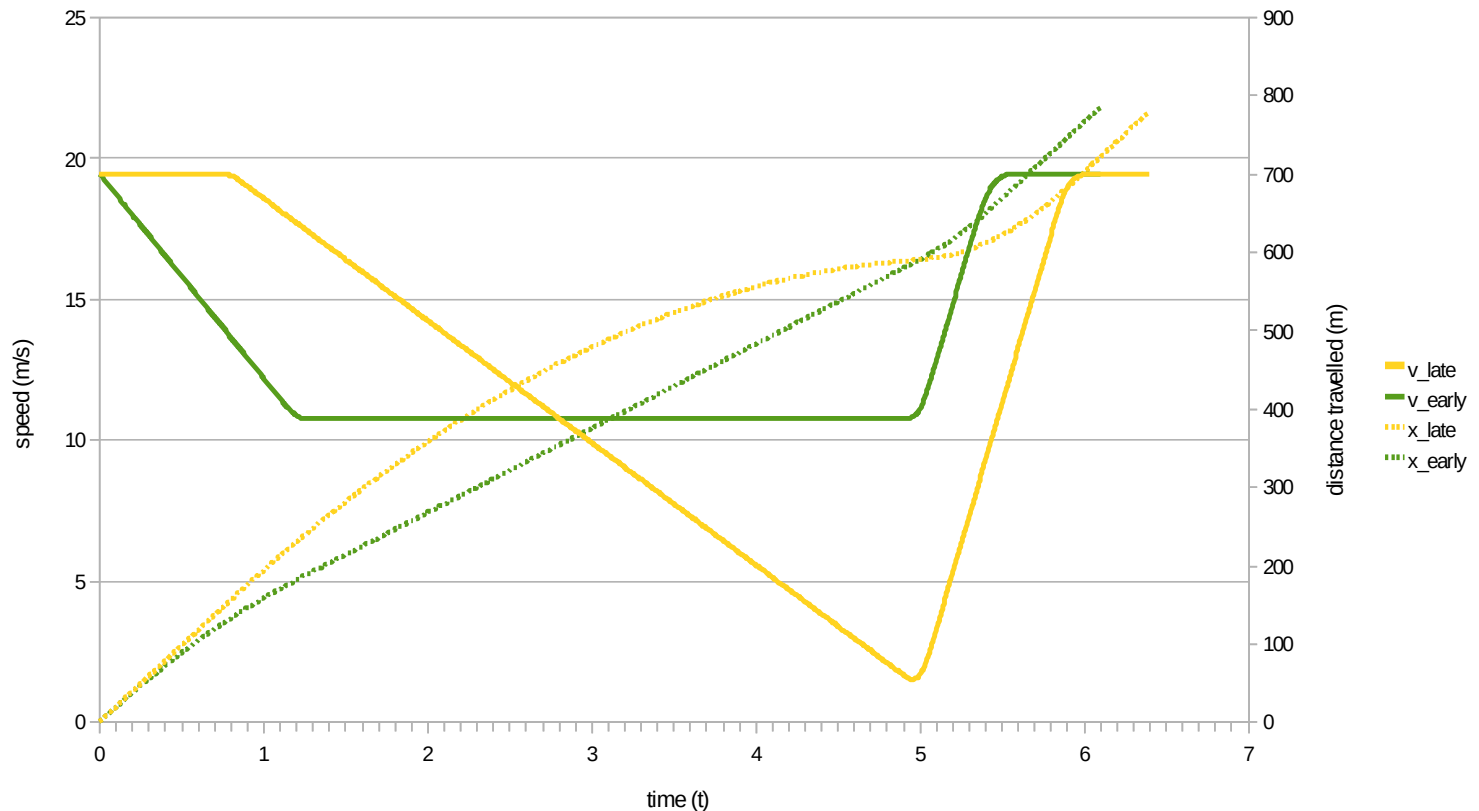
Vermindering verspilling bij rood



Voorbeeld trajectoriën waar het verschil in emissie tussen een just-in-time vertraging en een optimale vroegtijdige vertraging maximaal is.



Voorbeeld trajectoriën waar het verschil in emissie voor een optimale late vertraging en een optimale vroegtijdige vertraging maximaal is.



HET VOERTUIG ALS ACTUATOR:

Toegevoegde waarde voor het kruispunt Brandevoortsedreef/ A270

RESULTATEN BUITEN DE SPITS			Improvements w.r.t. actuated		Improvements w.r.t. MPC	
Controller	Equipped	Advice	CO ₂ (g/veh)	Travel Time (s/veh)	CO ₂ (g/veh)	Travel Time (s/veh)
Conflict free	0%	N/A	30,1%	32,6%	22,9%	20,3%
Actuated	0%	N/A	N/A	N/A	-10,2%	-18,3%
MPC	0%	N/A	9,3%	15,4%	N/A	N/A
MPC	10%	unconstrained	10,8%	15,3%	1,7%	-
MPC	10%	limited to 70%	10,9%	16,2%	1,8%	0,9%
MPC	30%	unconstrained	11,9%	15,4%	2,9%	-
MPC	30%	limited to 70%	11,9%	15,3%	2,9%	-
MPC	100%	unconstrained	15,6%	15,4%	7,0%	-
MPC	100%	limited to 70%	14,4%	15,5%	5,6%	-

RESULTATEN IN DE SPITS			Improvements w.r.t. actuated		Improvements w.r.t. MPC	
Controller	Equipped	Advice	CO ₂ (g/veh)	Travel Time (s/veh)	CO ₂ (g/veh)	Travel Time (s/veh)
Conflict free	0%	N/A	29,9%	44,4%	27,9%	34,3%
Actuated	0%	N/A	N/A	N/A	-3,0%	-18,3%
MPC	0%	N/A	2,9%	15,5%	N/A	N/A
MPC	10%	unconstrained	4,1%	14,6%	1,2%	-1,0%
MPC	10%	limited to 70%	2,7%	16,0%	-	-
MPC	30%	unconstrained	5,7%	13,7%	2,9%	-2,2%
MPC	30%	limited to 70%	5,9%	13,9%	3,1%	-1,9%
MPC	100%	unconstrained	9,7%	12,3%	7,0%	-3,7%
MPC	100%	limited to 70%	9,6%	13,0%	6,9%	-2,9%

CONCLUSIES

- › Er valt veel te winnen door vooruit te kijken in plaats van achteruit bij het bepalen van de signaalsturing van een verkeerslicht; dit vereist aanvullende detectie.
- › Vooruit kijken is rekenkundig veeleisend gegeven real-time beperkingen, waardoor aanvullende hardware is vereist.
- › Signaalgroep gebaseerd regelen verbetert de prestatie van een kruispunt zonder veel extra rekenkundige eisen te stellen
- › Toekomstvast met betrekking tot coöperatieve systemen

TOEPASSINGSGBIED

- › Kruispunten:
 - › Met vele mogelijke combinaties waarin groen kan worden gegeven aan de signaalgroepen, of
 - › Met een verkeersvraag die sterk varieert, of
 - › Waar prioriteit moet worden toegekend aan bepaalde voertuigen (openbaar vervoer, hulpdiensten, etc.)

- › Netwerken met een meer organische topologie (d.w.z. zonder regelmatige afstanden en geen raster), m.a.w. netwerken die niet voldoen aan de vereisten voor synchronisatie van kruispunten in twee of meer richtingen

VOORUITBLIK

- › Zijn voorspellende regelingen over 10 jaar de norm?
- › Zo nee, waarom niet?

THIS LIGHT ALWAYS
TAKES FOREVER.

I'D LIKE TO SMACK
THE IDIOT WHO
DESIGNED THIS
INTERSECTION.



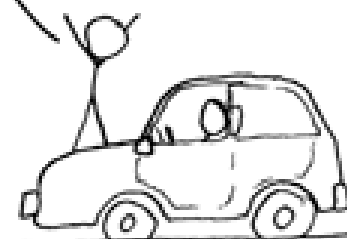
HI.

WHO THE HELL
ARE YOU?

I DESIGNED THIS
INTERSECTION.

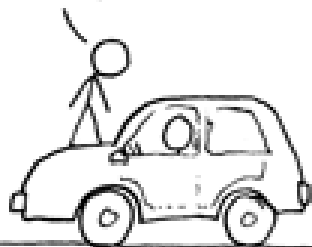


YOU'RE RIGHT- I SHOULD HAVE JUST MADE
THE LIGHT SHORTER! NEVER MIND THE
HOURS OF SIMULATION AND TESTING I DID.
NEVER MIND THAT THIS INTERSECTION
INTERACTS WITH ITS NEIGHBORS IN A
COMPLICATED WAY AND IT TOOK ME A
WEEK TO WORK OUT
TIMING SEQUENCES THAT
AVOIDED TOTAL JAMS.

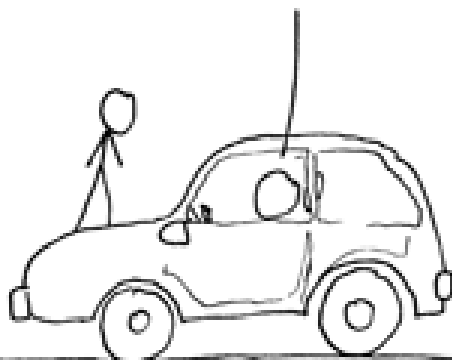


CLEARLY, I'M A CRAPPY
ENGINEER AND YOU HAVE
A BETTER SOLUTION.

GO ON, SHOW ME YOUR
PROPOSED TIMINGS.



GET THE HELL OFF
MY HOOD BEFORE I
START DRIVING AND
FLING YOU INTO TRAFFIC.



YOU CAN'T.
LIGHT'S RED.

WELL, WHEN WILL
IT CHANGE?
TUESDAY.

